МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

Л. П. КРАЙЗМЕР

ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»



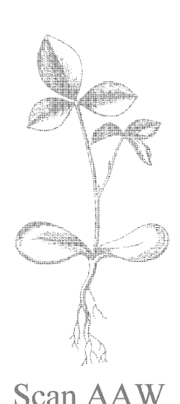
МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 571

Л. П. КРАЙЗМЕР

ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Издание второе, переработанное и дополненное





ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1965 ЛЕНИНГРАД

УДК 681.142.65
К 77

Содержатся сведения о значении и месте применения запоминающих устройств в технике проводной связи и радиосвязи в автоматике, вычислительной технике и научных исследованиях. Приводятся основные параметры и классификация запоминающих устройств. Популярно излагаются физические процессы, положенные в основу устройств, и описываются наиболее распространенные и интерссные схемы и конструкции различных запоминающих устройств и их сравнительные характеристики

Книга рассчитана на подготовленных радиолюбителей и широкие круги лиц со средним образованием, работающих в области радиоэлектроники, связи, автоматики и вычислительной техники.

Крайзмер Леонид Павлович
Запоминающие устройства.
М.—Л., издательство „Энергия", 1965.
112 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 571).
Сводный тематический план „Радиоэлектроника и связь", 1965 г., № 182.

Редактор *А. И. Кузьминов* Техн. редактор *В. Н. Малькова*

Обложка художника *А. М. Кувшинникова*

Сдано в набор 1/XII 1964 г. Подписано к печати 27/I 1965 г.
Т-03043 Бумага 84×108[1]/[32] 5,74 печ. л. 8,02, уч.-изд. л.
Тираж 47 000 экз. Цена 32 коп. Заказ 1690

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Государственного комитета Совета Министров СССР по печати.
Шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

Вся история развития человеческого общества, как и жизнь каждого отдельного человека, связана с процессами получения, накопления, переработки и использования разнообразной информации.

Источник этой информации — окружающий нас материальный мир. Человек при помощи органов чувств воспринимает информацию извне; накапливает ее в своем организме или, иными словами, запоминает; перерабатывает и систематизирует полученную информацию и, наконец, обменивается накопленной информацией с другими людьми.

На первых этапах своего развития люди во всех этих процессах могли использовать лишь возможности, заложенные в их собственных организмах. Единственным средством получения информации были органы чувств, средством запоминания и переработки информации — нервная система и мозг и, наконец, обмен информацией осуществлялся только при помощи мимики и устной речи.

Однако по мере развития человеческой культуры, науки и техники все большее значение в описанных процессах приобретали создаваемые человеком вспомогательные средства для получения, накопления, переработки информации и обмена ею. Органы чувств человек дополнил разнообразными приборами, которые в одних случаях значительно увеличили чувствительность естественных органов (например, микроскоп или телескоп, во много раз усилившие возможность ви́дения глазом ничтожно малых или сильно удаленных предметов), а в других случаях позволили человеку обнаруживать и исследовать такие проявления материального мира, которые не оказывают непосредственного воздействия на наши чувства (магнитное поле, радиоактивное излучение, ультразвуки и т. п.).

Для накопления, длительного хранения и обмена информацией люди уже давно пользуются рисунками и письменностью. Позднее появилось книгопечатание и, наконец, в новейшие времена для хранения информации — фотография, кинематография, граммофонная и магнитофонная запись и другие технические средства, а для обмена информацией — телеграф, телефон, радиосвязь, телевидение и т. п.

Наконец, для ускорения переработки информации, выраженной в числовом виде, применяют различные счетные приборы — логарифмические линейки, арифмометры, табуляторы и другие, все бо-

лее сложные и совершенные вычислительные устройства. Цепь развития этих устройств завершается в настоящее время универсальными быстродействующими вычислительными машинами, которые уже сейчас в решении ряда задач могут соперничать с человеческим мозгом, а по своему быстродействию и точности часто во много раз его превосходят.

Хранить информацию можно в аналоговой (непрерывной) или дискретной (цифровой) форме. Аналоговые устройства хранения информации, подобно другим блокам аналоговых систем, характеризуются значительно более низкой точностью записи и воспроизведения информации, но зато могут быть выполнены в виде более простых схем.

В настоящей книге рассматриваются различные технические средства для запоминания дискретной информации, т. е. информации, состоящей из последовательности отдельных (дискретных) элементов. Как доказано В. А. Котельниковым, любая непрерывная функция с ограниченным частотным спектром может быть точно представлена конечным числом отдельных значений, взятых через достаточно малые промежутки времени. Таким образом, в соответствии с теоремой Котельникова практически любую непрерывную функцию можно представить в дискретной форме и, следовательно, любую информацию можно хранить в устройствах хранения дискретной информации. Эти устройства в различных случаях называются по-разному: запоминающими устройствами, накопителями информации, регистрами и т. п. В дальнейшем изложении мы будем, как правило, пользоваться термином «запоминающие устройства» или, сокращенно, ЗУ.

К первым механическим устройствам хранения дискретной информации можно отнести созданные еще в средние века программные цилиндры часовых механизмов курантов.

В XVIII—XIX вв. широкое распространение получили музыкальные шкатулки и ящики, сердцем которых были программные валики со штифтами или перфорированные металлические диски, предназначенные для хранения и воспроизведения нотной записи.

Французский механик Ж. Вокансон сконструировал в 1741 г. первый ткацкий станок с программным управлением, основанным на применении перфорированного барабана, а другой французский изобретатель — Ж. Жаккар заменил в 1804 г. барабан перфорированным картоном — прообразом современных перфокарт.

В 1824 г. англичанин Ч. Беббидж впервые применил перфорационный принцип ввода чисел и программы работы в созданной им автоматической счетной машине.

Широкое внедрение технических устройств хранения дискретной информации относится к прошлому столетию и связано с развитием телеграфной связи. Например, телеграфную ленту при приеме на аппарате Морзе можно рассматривать как промежуточный этап хранения полученной по проводам информации до расшифровки ее телеграфистом. В 1858 г. Уитстоном была разработана система автоматического телеграфирования, при которой производится предварительная заготовка ленты путем ее перфорации, т. е. пробивания отверстий по коду Морзе с последующей автоматической передачей заготовленной на перфоленте телеграммы при помощи специального трансмиттера. Подобные ЗУ на перфолентах до сих пор находят широкое применение в вычислительной технике, при програм-

мном управлении станками и т. п. Для повышения помехоустойчивости телеграфного приема по системе Бодо — Вердана применялась многократная передача сигнала с накоплением его (запоминанием) в специальных емкостных накопителях. При переприеме телеграмм в качестве промежуточного ЗУ применяется запись на магнитную ленту.

Широкое применение находят ЗУ в автоматической телефонии. В схемах автоматических телефонных станций часто используется регистр — устройство, которое фиксирует набранный вызывающим абонентом номер, «запоминает» составляющие его цифры до конца набора и затем выдает этот номер в том же виде или в виде, пересчитанном в другую систему счисления. В автоматизированных системах дальней телефонной связи применяются релейные накопители вызовов. Они принимают на себя вызов и запоминают его, если все каналы требуемого направления заняты. После освобождения канала накопитель вызовов подключает его к первому на очереди из вызывающих абонентов, вызывает этого абонента и посылает по каналу вызов требуемому абоненту в другом городе. В 1957 г. в Англии пущена в эксплуатацию АТС с электронным управлением и ЗУ на магнитном барабане. Благодаря применению ЗУ станция «принимает заказы» на соединение с занятыми абонентами, которое осуществляется после их освобождения автоматически, без повторного набора.

В устройствах автоматики и телемеханики ЗУ — накопители информации — предназначаются для более или менее длительного хранения заранее подготовленных приказов (программы) и передачи их в нужный момент времени исполнительным органам; для накопления данных, подлежащих передаче по каналу телеизмерения; для хранения информации в ожидании ее переработки и т. п. Например, на искусственных спутниках земли и других исследовательских космических летающих аппаратах имеются программные устройства, управляющие автоматическим функционированием размещенной в них научной и измерительной аппаратуры. При этом результаты измерений непрерывно регистрируются, запоминаются и передаются на Землю в определенные моменты времени, заданные программой или специальными командными сигналами с Земли.

Важнейшими устройствами различных управляющих машин, таких, например, как впервые в мире разработанная в СССР машина «автомашинист», предназначенная для вождения электропоездов без машиниста, машина, пилотирующая самолеты без летчика, и др., являются блоки памяти. В эти блоки закладывается программа работы данного управляющего устройства, в соответствии с которой затем и осуществляется автоматически вся его работа.

Все более широкое распространение получают металлообрабатывающие — токарные, фрезерные, расточные и др. — станки с программным управлением, с записью программы в ЗУ на перфорированной или магнитной ленте.

Большое значение имеют ЗУ в радиолокационных устройствах, В так называемых системах индикации движущихся целей важное значение имеют накопительные элементы, позволяющие сравнивать данные измерений расстояния до объекта при последовательных посылках и таким путем разделять подвижные и неподвижные отражающие объекты.

В системах связи с повышенной помехоустойчивостью, основан-

ных на методе накопления и на корреляционном методе приема, также обязательными элементами служат накопители сигнала.

Около десяти лет назад в Канаде была разработана система коротковолновой радиотелеграфной связи «Джанет», в которой вместо ионизированных слоев атмосферы для отражения коротких волн используются ионизированные следы метеоров. Так как эти следы сохраняются лишь очень короткое время (от долей секунды до нескольких секунд), а интервалы между появлением метеоров достигают десятков секунд, то вся работа телеграфиста должна предварительно фиксироваться в ЗУ. Затем, при появлении метеорного следа, создающего канал радиосвязи, вся накопленная информация с большой скоростью автоматически передается из ЗУ на приемную станцию.

В различных научных исследованиях, связанных со счетом частиц (исследование радиоактивности, космических лучей и т. п.), широкое применение получили счетчики импульсов и пересчетные схемы, представляющие собой простейшие ЗУ, накапливающие и хранящие информацию в дискретной форме. Решение задачи автоматизации научного эксперимента и обработки полученных данных требует широкого внедрения в научно-исследовательскую аппаратуру ЗУ, позволяющих накапливать и хранить в течение определенного времени получаемую в процессе эксперимента информацию.

Перечисленные примеры применения ЗУ достаточно наглядно свидетельствуют о том, что они находят все более широкое применение в различных областях науки и техники.

Однако особенно быстрое развитие новых типов ЗУ, основанных на самых разнообразных фазических и химических принципах, происходило в течение последнего десятилетия в связи с потребностями бурно развивающейся электронной вычислительной техники.

До начала интенсивного развития электронной вычислительной техники, т. е. до середины 40-х годов, ассортимент ЗУ был весьма ограничен (перфолента, перфокарты, кинопленка, магнитная лента, электромеханические и электронные реле). Поэтому в первых образцах электронных машин конструкторы вынуждены были прежде всего использовать этот ограниченный ассортимент ЗУ, доставшийся в наследство от техники связи, звукозаписи, кинематографии и автоматики.

Однако перечисленные виды ЗУ не позволяли создавать быстродействующие малогабаритные устройства оперативной памяти. Поэтому началась разработка новых ЗУ, таких, как ЗУ на ультраакустических линиях задержки, электростатических ЗУ на специальных накопительных электронно-лучевых трубках, ЗУ на магнитных сердечниках с прямоугольной петлей гистерезиса и многих других.

Таким образом, стремление к удовлетворению нужд вычислительной техники привело к созданию большого количества новых устройств и конструкций, основанных на новых принципах, причем в последние годы наблюдается процесс интенсивного внедрения ЗУ, разработанных для вычислительных машин, в технику связи и автоматику.

Все сказанное свидетельствует о практической важности ознакомления с применяемыми в настоящее время ЗУ и об исключительном значении работ по исследованию и созданию новых образцов ЗУ, отвечающих все более высоким требованиям, предъявляемым к ним вычислительной техникой и другими областями науки.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ

1. СИСТЕМЫ СЧИСЛЕНИЯ

Предназначенные для хранения величины можно представить (т. е. закодировать) в виде чисел в разных системах счисления. В настоящее время повсеместно применяется так называемая десятичная позиционная система, в которой любые числа могут быть записаны при помощи десяти символов — цифр 0, 1, 2, 3, . . ., 9, причем этим цифрам придаются различные значения в зависимости от места их нахождения (позиции).

Когда мы пишем, например, число 1 111, то первой справа единице мы действительно приписываем значение один, т. е. $1 \cdot 10^0$, вторую справа единицу мы расшифровываем как один десяток, т. е. $1 \cdot 10^1$, третья единица обозначает сотню, т. е. $1 \cdot 10^2$, четвертая — тысячу, т. е. $1 \cdot 10^3$, и т. д.

Таким образом, любое целое число N в десятичной системе счисления представляется в виде суммы произведений различных степеней десяти на коэффициенты, которые могут принимать одно из десяти возможных значений.

Сокращенно это можно записать так:

$$N = \sum_{i=1}^{i=n} k_i \cdot 10^{i-1},$$

где $k_i = 0, 1, 2, \ldots, 9$, а n—число разрядов в числе. Например, пятиразрядное число 12 703 можно представить в виде суммы $12\,703 = 1 \cdot 10^4 + 2 \cdot 10^3 + 7 \cdot 10^2 + 0 \cdot 10^1 + 3 \cdot 10^0$. Здесь $k_1=3$; $k_2=0$; $k_3=7$; $k_4=2$ и $k_5=1$. Для упрощения записи числа мы пишем только значения коэффициентов 1, 2, 7, 0, 3, располагая их слева направо по убывающим номерам.

Позиционная система счисления с любым другим основанием

строится по такому же принципу, т. е. любое целое число в ней можно записать в виде

$$N=\sum_{i=1}^{i=n} k_i \cdot a^{i-1},$$

где k_i может принимать a различных значений. Например, если мы выберем основание $a=8$, то в такой восьмеричной системе счисления k_i может принимать одно из восьми возможных значений 0, 1, 2, ..., 7, а то же десятичное число 12 703 может быть представлено суммой $12\,703=3\cdot8^4+0\cdot8^3+6\cdot8^2+3\cdot8^1+7\cdot8^0$ и записано в восьмеричной системе в виде 30 637.

Наконец, полагая $a=2$ и $k_i=0$ или 1, число 12 703 по двоичной системе счисления можно представить суммой $12\,703=1\cdot2^{13}+$ $+1\cdot2^{12}+0\cdot2^{11}+0\cdot2^{10}+0\cdot2^9+1\cdot2^8+1\cdot2^7+0\cdot2^6+0\cdot2^5+1\cdot2^4+1\cdot2^3+$ $+1\cdot2^2+1\cdot2^1+1\cdot2^0$ и записать в виде 11000110011111.

С точки зрения хранения информации наиболее рационально ее кодирование в такой системе счисления, в которой ЗУ будут содержать наименьшее число элементов и в то же самое время эти элементы будут наиболее просты и надежны.

Предположим, что число элементов, например ламп, требуемое для хранения одного разряда числа, равно основанию системы счисления, т. е. что для хранения одной цифры в двоичной системе счисления требуются два элемента, в троичной системе — три элемента, в десятичной — десять элементов и т. д. Это предположение практически приблизительно верно. Сравним, какое количество элементов должно будет при этом содержать ЗУ при кодировании информации в различных системах счисления.

Если выбрать основание системы счисления a, то при количестве разрядов n общее количество элементов *ЗУ* будет $N=an$, а наибольшее количество чисел, которое может быть зафиксировано в таком ЗУ, будет, очевидно, $M=a^n$.

Определим, при каком основании a ЗУ, пригодное для запоминания M чисел, будет содержать минимальное количество элементов N. Логарифмируя выражение $M=a^n$, получим: $\ln M=n\ln a$, откуда

$$n=\frac{\ln M}{\ln a}.$$

Подставим полученное значение n в выражение $N=an$, тогда получим:

$$N=a\,\frac{\ln M}{\ln a}.$$

Если теперь задаться, например, максимальной емкостью ЗУ $M=10^6$, то при различных основаниях a количество элементов ЗУ N будет соответственно следующее:

a	2	3	4	5	10	20
N	39,2	38,24	39,2	42,9	60	91,5

Таким образом, с точки зрения минимума элементов в ЗУ наиболее выгодной оказывается троичная система счисления и почти равноценными ей — двоичная и четверичная системы.

Однако двоичная система обладает дополнительными преимуществами. Если учесть, что числа в двоичной системе закодированы в виде определенных комбинаций только двух цифр — 0 и 1 — и приписать наличию тока или напряжения значение 1, а отсутствию тока или напряжения — значение 0, то это позволит представлять числа чрезвычайно просто и надежно в виде наличия или отсутствия посылок (импульсов) тока или напряжения. Кроме того, простота выполнения арифметических операций с числами, выраженными в двоичной системе счисления, обусловила почти исключительное использование этой системы в современных электронных вычислительных машинах. Наконец, самыми простыми и надежными элементами ЗУ представляют собой элементы, которые могут находиться в двух устойчивых состояниях — типа двухпозиционного реле, находящегося в притянутом или отпущенном состоянии, заряженного или разряженного конденсатора, намагниченного или ненамагниченного сердечника и т. п. Это в свою очередь позволяет при использовании двоичной системы кодирования информации создавать надежные и очень простые по структуре ЗУ, в которых для запоминания каждого разряда двоичного числа достаточно иметь один элемент с двумя устойчивыми состояниями.

Приведенные соображения и были причиной того, что почти все практически используемые ЗУ предназначаются для хранения дискретной информации, закодированной в двоичной системе счисления.

2. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Запоминающие устройства характеризуются следующими основными показателями, обусловливающими целесообразность применения их для той или иной цели.

1. Емкость при технически приемлемых габаритах, выражаемая обычно количеством чисел соответственной разрядности. Так, например, емкость ЗУ на магнитном барабане машины «Урал-1» составляет 1 024 тридцатишестиразрядных двоичных числа.

Показателем, который позволяет удобно сравнивать между собой свойства различных ЗУ, служит их удельная емкость, выражаемая в двоичных единицах[1] на единицу объема (*дв. ед./см*^{3}).

2. Временные характеристики: время, необходимое для отыскания по заданному адресу соответствующей ячейки ЗУ ($t_{поиска}$); время, необходимое для записи информации ($t_{зап}$); время считывания ($t_{счит}$); время, необходимое для стирания информации ($t_{стир}$); время, требующееся для восстановления или регенерации информации после считывания в тех ЗУ, где считывание сопровождается стиранием информации ($t_{рег}$).

Практически удобно характеризовать ЗУ временем обращения ($t_{обр}$), которое при записи и считывании обычно имеет величины одного порядка:

$$t_{обр} = t_{поиска} + t_{стир} + t_{зап} \approx t_{поиска} + t_{счит} + t_{рег}.$$

[1] Двоичная единица — единица количества информации. 1 дв. ед. представляет собой количество информации, получаемой в результате опыта, заключающегося в одиночном выборе из двух равновероятных возможностей.

Часто используется также понятие времени цикла ($t_ц$):

$$t_ц = t_{поиска} + t_{счит} + t_{зап}.$$

3. Важнейший параметр ЗУ — надежность, т. е. соответствие между записанной и считываемой информацией, безошибочность работы ЗУ. Надежно действующее ЗУ должно гарантировать минимальную, практически близкую к нулю вероятность ошибок без применения слишком сложных методов предупреждения их (температурная стабилизация, жесткая стабилизация источников питания и т. п.). Понятие надежности включает также помехоустойчивость ЗУ, отсутствие влияния на сохранность информации процессов записи и считывания в соседних ячейках ЗУ.

4. Важное свойство ЗУ заключается в сохранности или разрушаемости и зафиксированной в них информации при выключении устройства или случайных перерывах подачи электрического питания.

Среди прочих показателей, позволяющих сравнивать между собой ЗУ различных типов, укажем на их экономичность, т. е. расход энергии, необходимой для записи, считывания, стирания, регенерации, а в разрушающихся ЗУ и для сохранения информации, стоимость ЗУ, степень сложности их конструкции и обслуживания и, наконец, размеры.

3. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Исходя из принципов построения и использования (а не из физико-химических принципов действия элементов), ЗУ можно классифицировать следующим образом (рис. 1). С точки зрения возможностей обращения к той или иной ячейке их можно разделить на:

а) ЗУ с последовательным доступом (например, на перфорированной или на магнитной лентах), в которых записывать или считывать информацию можно лишь в некоторой последовательности, определяемой необходимостью перемотки ленты;

б) ЗУ с циклическим доступом (например, на магнитном барабане), в которых запись или считывание в нужной ячейке возможны периодически, через определенные промежутки времени, зависящие от цикла работы ЗУ (например, времени оборота барабана);

в) ЗУ с произвольным доступом или равнодоступные, допускающие в любой момент времени считывание или запись в любой ячейке.

По признаку кратности использования ЗУ разделяются на нестирающиеся, или однократного действия, и стирающиеся, или многократного действия. Нестирающиеся ЗУ допускают только однократную запись информации с последующим многократным ее считыванием, как, например, перфорированная лента. Стирающиеся ЗУ допускают сколь угодно большое число записей, считываний, стираний и новых записей информации до естественного износа самого носителя информации. В качестве примера стирающихся можно привести ЗУ на магнитной ленте.

Нестирающиеся ЗУ или, как их еще называют, постоянные, долговременные или задающие, в свою очередь можно разбить на две

группы: ЗУ с записью при изготовлении и ЗУ с записью оператором. Как пример первой группы нестирающихся ЗУ можно привести диодную матрицу с постоянной распайкой диодов в узлах (описание см. в гл. 2), примером второй группы служит ЗУ на перфоленте. Стирающиеся ЗУ нашли наиболее широкое применение в современной технике хранения информации.

Все стирающиеся ЗУ можно разделить на статические и динамические. В статических ЗУ информация в течение всего времени

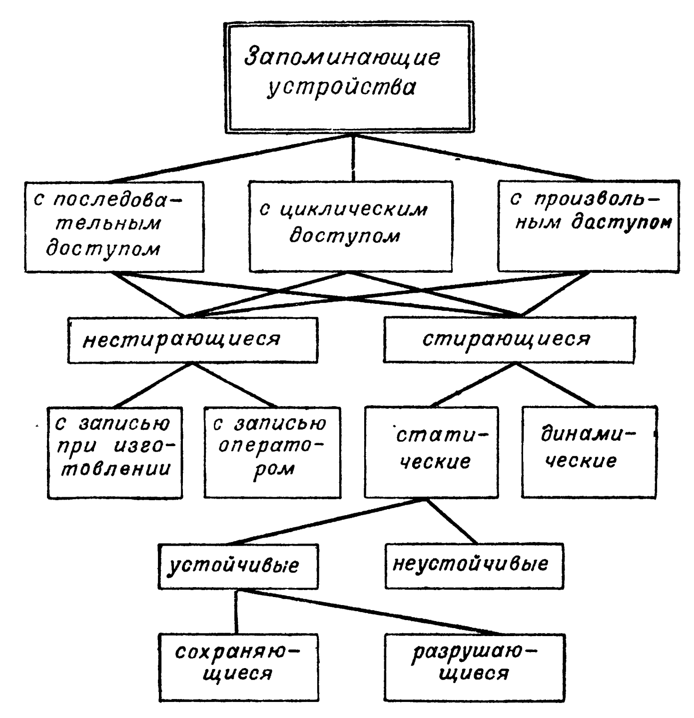


Рис. 1. Схема классификации запоминающих устройств.

хранения остается неподвижной по отношению к носителю информации (релейные ЗУ, электростатические на электронно-лучевых трубках, ЗУ на магнитной ленте и др.). В динамических ЗУ информация находится в непрерывном движении относительно своего носителя. Во всех применяемых в настоящее время динамических ЗУ информация циркулирует по замкнутому тракту, в качестве основного элемента которого используются различные линии задержки. В определенных местах тракта делаются ответвления к записывающему и считывающему устройствам, и, следовательно, информация может быть записана или считана только один раз за каждый

цикл обращения. Таким образом, все динамические устройства являются в то же время и циклическими — они допускают однократную запись и чтение за цикл. Циклическими могут быть, впрочем, и статические ЗУ, например магнитный барабан.

Статические ЗУ разделяются на устойчивые — сохраняющие информацию в условиях нормальной эксплуатации сколь угодно долго (ламповые, полупроводниковые и другие триггеры, ферритовые сердечники и т. п.), и неустойчивые — требующие периодического восстановления или регенерации, в которых информация постепенно самопроизвольно теряется, как, например, в запоминающих электронно-лучевых трубках вследствие растекания зарядов.

Наконец, устойчивые ЗУ в свою очередь можно разделить на сохраняющиеся, в которых информация сохраняется и при выключении источников питания (магнитные ЗУ), и разрушающиеся, в которых прекращение подачи питания вызывает разрушение хранящейся информации (ламповые и полупроводниковые триггеры).

Отметим, что все динамические ЗУ относятся к группе разрушающихся.

С точки зрения специфики использования ЗУ в электронных вычислительных машинах все ЗУ разбиваются на следующие большие группы.

1. ЗУ входных и выходных блоков машины, служащие как бы связующим промежуточным звеном между машиной и внешней средой. В качестве таких ЗУ чаще всего применяются нестирающиеся ЗУ с записью при эксплуатации (перфоленты и перфокарты).

2. ЗУ для хранения постоянных чисел и коэффициентов. Для этой цели применяются нестирающиеся ЗУ с записью при изготовлении, например диодные матричные с постоянной распайкой диодов в узлах матрицы или ЗУ на ферритовых сердечниках, прошитых или не прошитых проводниками возбуждения и считывания.

3. Внешние ЗУ, предназначенные для длительного хранения большого количества информации, измеряемой десятками или сотнями тысяч чисел. В них фиксируется обычно вся вводимая в машину информация, которая затем используется постепенно в процессе решения задачи. Внешние ЗУ в машинах часто называют внешними накопителями. Учитывая большую емкость внешних ЗУ, к ним не предъявляют особенно высоких требований в отношении скоростей записи и считывания. Наиболее часто во внешних ЗУ применяют магнитную ленту.

4. Внутренние, или оперативные ЗУ, непосредственно связанные с арифметическим устройством и используемые для запоминания промежуточных результатов вычислений и той информации, взятой из внешнего накопителя, которая необходима для текущих вычислений. Емкость внутренней памяти машины может ограничиваться несколькими сотнями или тысячами чисел, хотя в некоторых машинах она достигает десятков и сотен тысяч чисел. Так как скорость работы всей вычислительной машины в основном определяется скоростью работы внутреннего ЗУ, то важнейшее требование, предъявляемое к нему, — максимальное быстродействие. В современных машинах время, необходимое для записи и считывания информации во внутренних ЗУ, составляет десятки или единицы, или даже доли микросекунд. Наибольшее распространение в качестве оперативных ЗУ в настоящее время получили устройства на ферритовых сердечниках с прямоугольной петлей гистерезиса.

5. Сверхоперативные ЗУ небольшой емкости (порядка десятков или сотен слов) с очень малым временем обращения (порядка десятых или сотых долей микросекунды). Сверхоперативные ЗУ имеются в некоторых уникальных машинах с очень высоким быстродействием и, являясь частью оперативных ЗУ, предназначаются для хранения той части оперативной информации, к которой приходится особенно часто обращаться при решении задач. Таким образом, можно получить значительное ускорение работы машины в целом. Сверхоперативные ЗУ строятся на тонких магнитных пленках, туннельных диодах и других сверхбыстродействующих запоминающих элементах.

6. Промежуточные или буферные ЗУ служат для хранения информации, считываемой из внешнего ЗУ, которая наиболее часто требуется для решения задачи и должна быть передана в оперативное ЗУ быстрее, чем это может быть сделано непосредственно из внешнего накопителя.

Буферные ЗУ рассчитываются на емкость, среднюю между емкостью внешних и внутренних ЗУ (обычно порядка нескольких десятков тысяч чисел), и по своему быстродействию занимают также промежуточное место (время выборки данных порядка десятков миллисекунд). Во многих машинах буферные ЗУ отсутствуют. Чаще всего в качестве буферных ЗУ применяются магнитные барабаны.

Для создания ЗУ может быть использовано неограниченное многообразие физико-химических явлений, связанных с изменениями под влиянием внешних воздействий состояния той или иной системы и возможностью более или менее длительного устойчивого сохранения и распознавания этого изменившегося состояния.

В последующих главах книги приводится описание принципов, на которых основано устройство различных ЗУ, дается сравнительная оценка их свойств и показателей и приводятся примеры конкретного использования их в различных установках.

При этом рассматриваются лишь те из них, которые либо уже находят широкое применение в настоящее время, либо перспективны с точки зрения возможностей их использования в будущем.

ГЛАВА ВТОРАЯ

НЕСТИРАЮЩИЕСЯ ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

4. ПЕРФОКАРТЫ И ПЕРФОЛЕНТЫ

Запоминающие устройства на перфорированных картах и перфорированных лентах применяются в качестве промежуточного звена между оператором и машиной и предназначаются для автоматизации процессов ввода исходных данных и программы вычислений в машину и вывода результатов вычислений из машины.

Перфокарты широко применяются в счетно-аналитических машинах, часто называемых также счетно-перфорационными машинами. В блоках этих машин используются принципы точной механики

и электромеханики, и лишь в последних образцах счетно-аналитических машин начинают применяться электронные элементы.

В качестве ЗУ для ввода данных в быстродействующие электронные вычислительные машины перфокарты применялись главным образом в ранних образцах машин — в американской машине «ЭНИАК», некоторых машинах фирмы «ИБМ», советской машине «Стрела». Впрочем, в наиболее современных электронных машинах, особенно предназначенных для обработки всевозможных статистических материалов, результатов переписи, данных о грузообороте и т. п., часто оказывается удобным применять для ввода перфокарты, заготовленные в разное время и даже в различных географических пунктах и затем доставленные по почте или переданные (реперфорированные) по каналам связи. Для ускорения ввода в машину эти данные могут предварительно с перфокарт перезаписываться на магнитную ленту и уже с последней вводиться в машину.

Стандартная перфокарта (рис. 2) представляет собой картонный прямоугольник шириной 187,4, высотой 82,5 и толщиной 0,18 *мм*. Левый верхний угол карты отрезан для удобства операций подбора, укладки и т. п. По ширине перфокарта разбивается на 45 или 80 колонок, а по высоте содержит десять рядов, каждый из которых предназначается для записи одной из десяти цифр.

Каждый разряд числа записывается в отдельной колонке в виде пробивки в ней соответствующей цифры. Таким образом, если, например, нужно записать в колонках 31—34 четырехзначное число 2 732, то нужно в 31-й колонке пробить цифру 2, в 32-й — цифру 7, в 33-й — цифру 3 и в 34-й — цифру 2.

Отверстия в картах пробивают на перфораторе, представляющем собой устройство с цифровой клавиатурой и связанными с клавишами пуансонами, пробивающими отверстия. В современных перфораторах пуансоны чаще всего работают от электромагнитов, управляемых клавиатурой. Перфорируют карты в большинстве случаев вручную операторы, считывающие данные из таблиц или других первичных документов. Существуют и автоматические перфораторы, предназначенные для размножения подготовленных оператором перфокарт, перезаписи информации на перфокарты с перфоленты или магнитной ленты и т. п.

Скорость ручной заготовки перфокарт определяется квалификацией оператора и составляет до 1—2 знаков в секунду. При автоматической реперфорации достигнута максимальная скорость около сотни знаков в секунду. Для считывания записанной на картах или лентах информации могут применяться механический, электрический, контактный, электрический емкостный и фотоэлектрический способы. В счетно-аналитических машинах наибольшее распространение получил электрический контактный способ, при котором перемещающаяся перфокарта как бы ощупывается металлическими щеточками, замыкающими соответствующие электрические цепи через пробитые отверстия. При этом скорость считывания не превышает примерно 100 знаков в секунду.

При фотоэлектрическом считывании луч от источника света проходит через отверстия в карте или ленте и попадает на фотоэлементы, дающие импульсы электрического тока. При этом может быть достигнута скорость считывания порядка тысяч знаков в секунду.

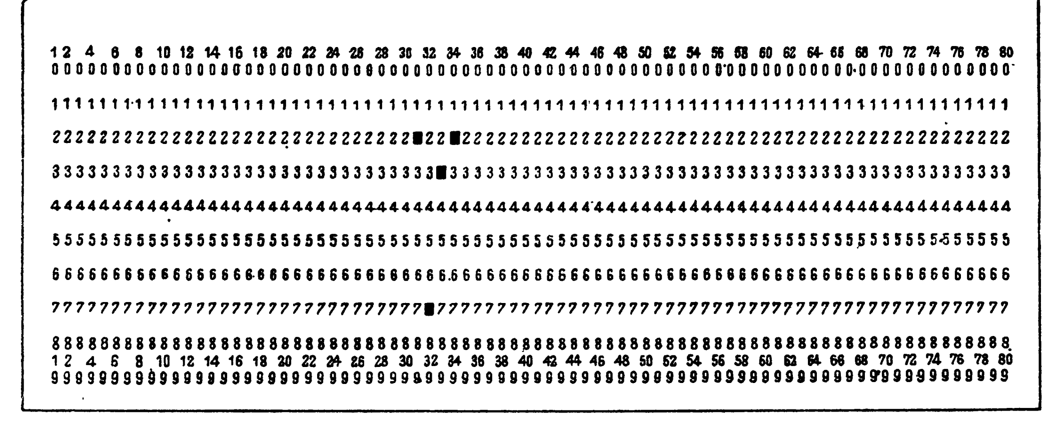


Рис. 2. Стандартная 80-колонная перфокарта.

Карты закладывают в машину в виде массивов или колод. При этом достоинство перфокарт заключается в возможности подборки их в колоде в любом порядке и, следовательно, возможности ввода информации в машину в любой желательной последовательности.

По сравнению с перфолентой перфокарты обладают рядом недостатков. Плотность записи информации на перфокартах приблизительно вдвое меньше плотности записи на перфоленте. Перфорационные и считывающие устройства для перфокарт значительно сложнее по своей механической конструкции, так как наряду с поступательным движением каждой карты необходимо еще осуществлять выборку следующей карты из колоды и сбрасывание уже считанной. При использовании же перфолент последним необходимо сообщать только поступательное движение. Следовательно, устройства с перфокартами дороже и требуют более сложной регулировки. Все эти соображения привели к тому, что в настоящее время в качестве ЗУ для ввода исходных данных и программы работы в электронные вычислительные машины и другие устройства автоматизации наибольшее применение нашли перфоленты.

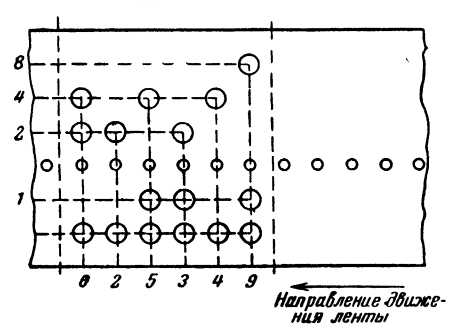


Рис. 3. Перфолента для ввода данных.

Для ввода данных в машины используется стандартная бумажная телеграфная лента с пятью основными дорожками (рис. 3). Шестая дорожка на ленте служит ведущей, при помощи ее лента передвигается зубчатым колесом во время перфорации. При считывании с ленты для ее продвижения также могут применяться зубчатые колеса, но чаще используются нажимные валики, обеспечивающие лучшую механическую сохранность ленты при значительно бóльших скоростях ее протягивания.

Числа при вводе в машину могут кодироваться в различных системах счисления. Чаще всего используется двоично-кодированная десятичная система счисления, в которой за основание, как в обычной системе, принимается число 10, но каждая десятичная цифра кодируется по двоичной системе. Так, например, десятичное число 625 349 в двоично-десятичном коде будет иметь вид: 0110, 0010, 0101, 0011, 0100, 1001, где 0110 — двоичный код цифры 6, 0010 — двоичный код цифры 2 и т. д. На рис. 3 на ограниченном пунктирами участке ленты пробит код именно этого числа—625 349. Пробивки на первой снизу дорожке указывают на применение двоично-десятичной системы кодирования, пробивки на второй дорожке соответствуют наличию в коде числа единиц, например, на третьей — двоек, на четвертой — четверок и на пятой — восьмерок. Таким образом, наличие в последнем ряду отверстий на пятой и второй дорожках соответствует двоичному коду цифры 9, состоящей из восьмерки и единицы.

Для избежания ошибок при вводе задач в машину рекомендуется изготовление перфоленты дважды (желательно двумя операторами) с последующим сличением обеих лент на специальном контрольно-считывающем устройстве. В случае несовпадения перфораций на лентах это устройство останавливает ленту и дает сигнал оператору об ошибке. Тогда место несовпадения проверяется осмотром и, если на одной из лент отсутствует нужное отверстие, пробивают его вручную, а если оказывается лишнее отверстие, то его заклеивают. В случае необходимости исправления целых участков ленты приходится ее разрезать, удалять или вставлять соответствующие отрезки и склеивать их.

При необходимости многократного повторного ввода одних и тех же данных конец перфоленты можно склеивать с ее началом, образуя бесконечную петлю (замкнутую ленту).

Срок службы перфоленты зависит от способов считывания, качества лентопротяжного механизма и возникающих при движении ленты ускорений. Хотя срок службы бумажных лент и невелик, но применение автоматических реперфораторов позволяет быстро и почти без затрат человеческого труда изготавливать копии перфолент для замены износившихся экземпляров.

Бумажные перфоленты получили самое широкое распространение для ввода, а в некоторых случаях и для вывода данных в отечественных и зарубежных электронных вычислительных машинах. В частности, при помощи перфолент вводится информация в машины БЭСМ, «Минск», «Раздан» и др. Широко используются перфоленты в системах автоматического телеграфирования, когда записанная в перфораторе определенным, чаще всего пятизначным, кодом буквенная и цифровая информация передается затем в линию специальным трансмиттером, считывающим информацию с ленты и преобразующим ее в последовательность электрических импульсов. За последние годы в нашей стране и за рубежом создан ряд систем автоматического программного управления металлообрабатывающими станками. В этих системах программа обработки изделия часто задается перфолентой, которая пропускается через считывающее устройство командоаппарата, управляющего рабочими органами станка.

В некоторых случаях вместо бумажной ленты применяется непрозрачная кинопленка стандартной ширины 35 *мм*. Такая перфолента применяется для ввода информации в серийно выпускаемых отечественной промышленностью машинах «Урал» нескольких модификаций. В этом случае перфорация производится на 11 дорожках, из которых девять предназначаются для записи чисел, закодированных по двоично-десятичной системе, десятая дорожка — для записи знака числа и одиннадцатая — для маркерных пробивок, сигнализирующих начало нового числа.

5. МАТРИЧНЫЕ ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ПОСТОЯННЫХ ВЕЛИЧИН

В ряде случаев в вычислительных и управляющих машинах, в устройствах и схемах автоматики и экспериментальных исследовательских установках возникает необходимость хранения некоторых

постоянных величин, данных, признаков для сортировки и т. д. Для этих целей хранения постоянной информации широко применяются матричные ЗУ, представляющие собой матричные схемы, образованные пересекающимися рядами проводов — шинами, соединенными между собой в точках пересечения (узлах матрицы) через сопротивления, конденсаторы или вентили.

На рис. 4 для примера изображена схема простейшего матричного ЗУ на вентилях так называемой диодной сетки с емкостью хранения в шесть восьмиразрядных двоичных чисел. Ячейками памяти в данной схеме служат шесть горизонтальных шин, а выходами для считывания чисел — восемь вертикальных (по одной для каждого разряда считываемого числа). Наличие на вертикальной шине положительного потенциала соответствует считыванию знака 1, а отсутствие потенциала — знака 0.

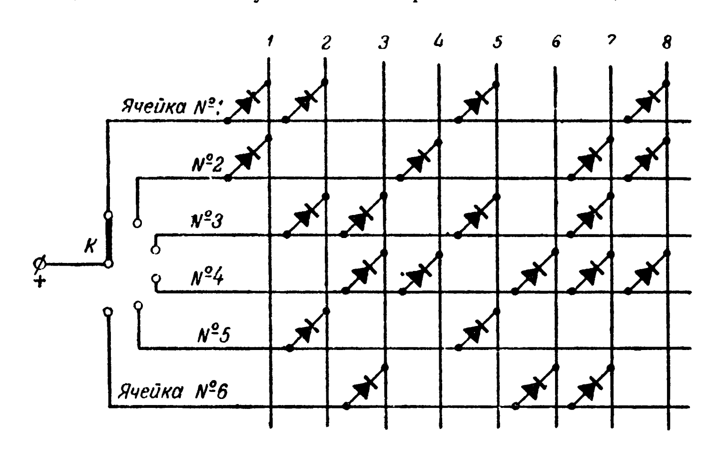


Рис. 4. Схема диодно-матричного запоминающего устройства.

Для считывания числа, хранящегося в ячейке № 1, нужно при помощи коммутатора *К* подать положительное напряжение на первую горизонтальную шину. Тогда на выходах *1*, *2*, *5* и *8* появится положительное напряжение, что соответствует считыванию числа 11001001. При подаче напряжения на вторую шину будет считано хранящееся в ячейке № 2 число 10010011 и т. д.

ЗУ такого типа просты, надежны, экономичны и позволяют очень быстро считывать информацию (за микросекунды или даже доли микросекунд). Конечно, для того чтобы практически реализовать большие скорости считывания, необходимо выбирать нужную ячейку (горизонтальную шину) не механическим контактным коммутатором, а электронным.

Широкое применение получили диодно-матричные сетки в качестве основных элементов шифраторов и дешифраторов. В этом случае они хранят в себе постоянную программу для перевода, напри-

мер, чисел из одной системы счисления в другую, для кодирования числовым кодом букв алфавита и др.

Горизонтальные и вертикальные шины соединяют в узлах матрицы не непосредственно, а через диоды для предупреждения паразитного перехода напряжений с одной шины на другую. Возможно включение в узлах матрицы вместо вентилей конденсаторов или активных сопротивлений, но тогда необходимо так рассчитывать элементы схем, чтобы избежать ошибок при считывании информации вследствие возможных паразитных переходов.

Информация в таких ЗУ записывается чаще всего в виде соответствующей распайки соединительных элементов в узлах матрицы при изготовлении ЗУ. Однако в процессе эксплуатации возможно и изменение хранимых данных путем перепайки элементов. Наконец, возможно штепсельное включение соединительных элементов оператором. Для этого в местах пересечения шин, выполненных в виде металлических полосок, в них должны быть высверлены расположенные друг против друга отверстия.

6. ФОТОСКОПИЧЕСКИЕ ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Применение фотографических методов позволяет создавать малогабаритные ЗУ очень большой емкости. Это обусловливается весьма высокими качествами фотографических эмульсий с высокой разрешающей способностью. Современные пленки для черно-белых изображений дают возможность различать до 100 отдельных элементов (точек) на 1 *мм*. У лучших специальных материалов эта величина достигает 1 000 элементов на 1 *мм*. Таким образом принципиально может быть достигнута плотность записи постоянной информации до 10^6 *дв. ед./мм*^{2}.

Если бы практически оказалось возможным реализовать надежную запись и считывание при такой высокой плотности, то информацию, заключающуюся во всех когда-либо напечатанных книгах, можно было бы хранить в фотографическом ЗУ объемом всего в несколько кубических метров.

Однако если даже снизить плотность записи ради удобства считывания и повышения надежности ЗУ на несколько порядков, то и при этом условии можно достигнуть плотности порядка сотен или тысяч двоичных единиц на квадратный сантиметр, что во много раз выше наибольшей плотности записи на магнитной ленте, достигающей в лучшем случае десятков двоичных единиц на квадратный сантиметр.

Следует отметить, что скорость считывания никак не зависит от свойств фотографического носителя информации и определяется лишь временем, необходимым для перемещения носителя или для усиления считываемых импульсов.

Наиболее известными конструктивными решениями фотоскопических ЗУ является применение движущейся киноленты или вращающегося диска с записанной на них информацией.

На рис. 5 схематически изображено экспериментальное ЗУ в виде фотоскопического диска, предназначенного для хранения постоянной информации. На прозрачном диске *Д* диаметром около

30 *см*, вращающемся от электродвигателя *ЭД*, нанесен слой фотоэмульсии с большой разрешающей способностью. Информация записывается на диске в виде вертикальных штрихов. В круге *А* в увеличенном виде показан небольшой участок диска с тремя дорожками штриховой записи. Для считывания информации световой луч от экрана электронно-лучевой трубки *Т* направляется через линзу на нужную дорожку. Когда благодаря вращению диска на пути луча окажется участок с требуемой информацией, она считывается фотоэлементом *Ф*, усиливается усилителем *У*, и на выходе

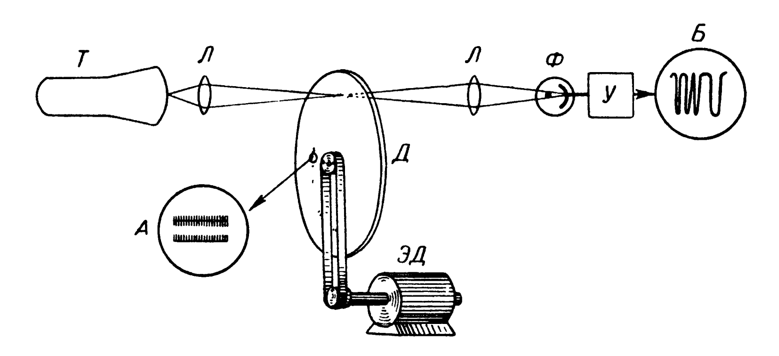


Рис. 5. Фотоскопическое дисковое запоминающее устройство.
Т — электронно-лучевая трубка; *Д* — фотоскопический диск; *Ф* — фотоэлемент; *У* — усилитель; *Л* — оптические линзы; *ЭД* — электродвигатель; *А* — участок диска в увеличенном виде; *Б* — форма выходного сигнала.

системы получается импульсное напряжение, форма которого показана в круге *Б*.

Кроме описанных фотоскопических ЗУ с движущимися носителями информации, позже было разработано ЗУ на неподвижных фотографических пластинах, в котором информация считывается путем развертки бегущим лучом. Это устройство большой емкости спроектировано специально для электронных автоматических телефонных станций, однако его можно применять и в качестве постоянной памяти электронных цифровых машин.

Заданное направление электронного луча в этом ЗУ достигается специально разработанной системой с обратной связью. Фактическое положение луча в каждый момент времени сравнивается специальным устройством с заданной позицией. При этом вырабатывается сигнал ошибки, который подается после обработки в усилители отклоняющих напряжений, чем достигается точная наводка луча в заданную точку экрана.

Фотоскопические ЗУ в виде комбинации с менее емкими, но более гибкими стирающимися ЗУ, используемыми в качестве буферных устройств, найдут, вероятно, в будущем применение в разнообразных информационных машинах с большим объемом памяти.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

РЕГИСТРЫ НА ЭЛЕМЕНТАХ РЕЛЕЙНОГО ТИПА

7. СТРУКТУРА РЕГИСТРОВ

Реле различного типа находят очень широкое применение для создания так называемых регистров — запоминающих устройств на одно число. Особенно простой и надежно действующей оказывается схема регистра, предназначенного для запоминания двоичных чисел, причем каждый разряд числа может быть зафиксирован одним двухпозиционным реле.

Предположим, что мы хотим записать в релейном регистре четырехзначное двоичное число 1101 (что соответствует десятичному числу 13). Для этой цели необходимо, чтобы регистр содержал четыре реле, которые после срабатывания оставались бы в рабочем состоянии до тех пор, пока они не будут возвращены в начальное состояние в результате специального воздействия. Кроме того, нужно, чтобы эти реле в зависимости от своего состояния управляли знаком или величиной токов или напряжений, что обеспечивает считывание зафиксированной в них информации. В нашем примере в результате воздействия на реле регистра импульсами кода числа 1101 должны сработать первое, второе и четвертое реле, а третье должно остаться в начальном состоянии. Таким образом произойдет запись числа в регистре.

Полученное в результате записи состояние регистра должно сохраняться до тех пор, пока на него не будет оказано соответствующее внешнее воздействие, которое приведет все реле в начальное состояние (гашение регистра). Наконец, каждое из реле, находящихся в рабочем состоянии, своими контактами должно включать во внешнюю цепь (цепь считывания) некоторое напряжение, что обеспечивает считывание хранящейся в регистре информации. Считывание может происходить либо при сохранении в регистре записанного числа, либо одновременно с гашением регистра.

Регистры могут строиться по принципу параллельного или последовательного действия. Релейный регистр параллельного действия, предназначенный для запоминания n-разрядных чисел, изображен на рис. 6. Он содержит n реле, к каждому из которых через вход записи подводится электрический импульс, характеризующий один разряд числа. Каждое реле имеет также свой выход, на который выдается импульс считывания данного разряда. Кроме того, имеется общий для всех реле вход гашения, предназначенный для освобождения регистра, т. е. стирания хранящейся в нем информации.

Регистр параллельного действия позволяет записывать или считывать многоразрядное число за один такт работы устройства, т. е. обеспечивает большую скорость работы ЗУ и связанных с ним других устройств. Однако при этом значительно усложняется и удорожается схема, так как количество входов в регистр и выходов из него должно быть равно количеству разрядов двоичного числа (практически 30—40).

Поэтому в тех случаях, когда не требуется большое быстродействие устройств, применяются регистры последовательного действия, в которые числа вводятся поразрядно. При этом запись или

считывание числа из n-разрядного регистра требует времени, равного n тактам устройства.

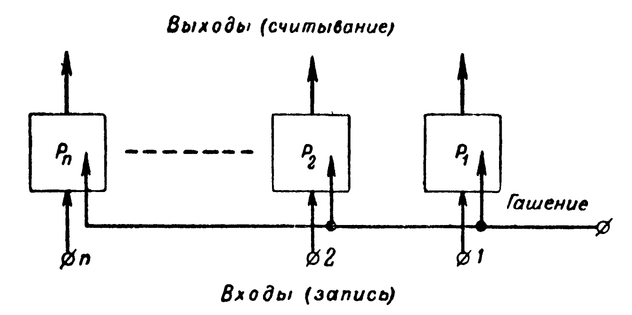


Рис. 6. Релейный регистр параллельного действия.

Блок-схема регистра последовательного действия приведена на рис. 7. Здесь изображен n-разрядный регистр, состоящий из n реле; при этом вход каждого из них соединен с выходом предшествующего реле через элемент задержки $З$, задерживающий электрический импульс на некоторое время τ.

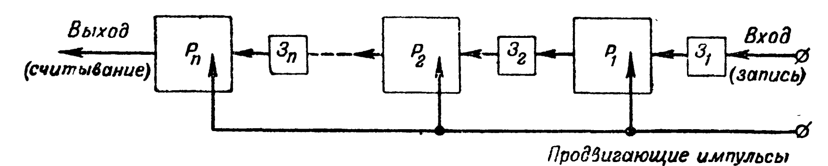


Рис. 7. Релейный регистр последовательного действия.

Регистр имеет один общий вход и один общий выход для поразрядного ввода и вывода чисел. Кроме того, имеется цепь, ответвления от которой поступают на все реле регистра. В эту цепь подаются так называемые продвигающие импульсы—импульсы, следующие друг за другом с той же частотой, что и основные, несущие информацию. При поступлении продвигающего импульса в любое реле оно выдает содержащуюся в нем информацию, т. е. выдает импульс, если оно находилось в рабочем состоянии, и не выдает импульс, если оно находилось в начальном состоянии. Само реле при этом переходит в начальное состояние.

На рис. 8 вверху изображены последовательность кодовых импульсов на входе системы при записи числа 1101 (импульсы на графике расположены в обратном порядке, так как ввод и вывод чисел обычно начинаются с младших разрядов и заканчиваются старшими), а внизу — последовательность продвигающих импульсов.

Предположим, что в начальный момент t_0 все реле регистра находились в начальном состоянии. Следовательно, в момент t_1 продвигающие импульсы ничего не изменят в состоянии реле регистра, а на вход регистра поступит первый кодовый импульс. Через промежуток времени τ этот импульс попадет на реле P_1 (рис. 7)

и в момент $t_1+\tau$ переведет его из начального в рабочее состояние.

В момент t_2 следующий продвигающий импульс возвратит реле P_1 в начальное состояние, причем оно выдаст импульс, который в момент $t_2+\tau$, пройдя через элемент $З_2$, воздействует на реле P_2 и переведет его в рабочее состояние.

В момент t_3 продвигающий импульс возвратит реле P_2 в начальное состояние, а выданный им при этом импульс в момент

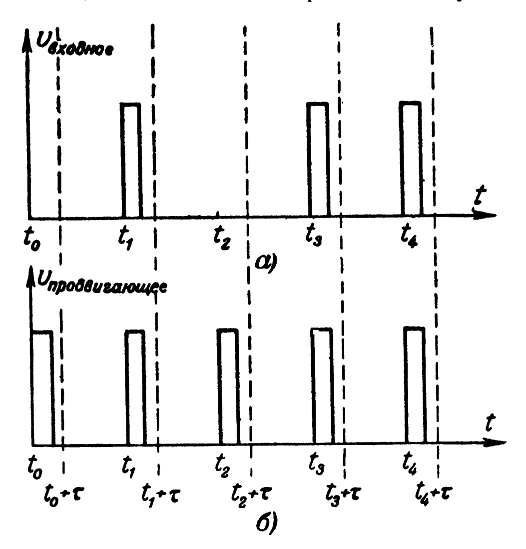


Рис. 8. Последовательность кодовых (*а*) и продвигающих (*б*) импульсов в регистре последовательного действия.

$t_3+\tau$ после задержки в элементе $З_2$ переведет в рабочее состояние реле P_3. Кроме того, в тот же момент $t_3+\tau$ в рабочее состояние перейдет и реле P_1 под воздействием поступившего на вход регистра в момент t_3 кодового импульса.

Наконец, в момент t_4 продвигающие импульсы возвратят в начальное состояние реле P_3 и P_1, выданные ими импульсы в момент $t_4+\tau$ переведут в рабочее состояние реле P_4 и P_2, а реле P_1 перейдет в рабочее состояние под воздействием поступившего на вход в момент t_4 очередного кодового импульса. Таким образом, к моменту времени $t_4+\tau$ все число 1101 окажется зафиксированным в регистре.

При считывании, продолжая подачу на все реле регистра продвигающих импульсов, мы будем как бы проталкивать записанное число к выходу регистра, в результате чего на выходе получим кодовую комбинацию импульсов, соответствующую хранившемуся в регистре числу. На рис. 9 показана последовательность состояний четырехразрядного регистра при записи числа 1101. Рабочие состояния реле при этом изображены заштрихованными, а началь-

ные — белыми клетками. Из рисунка видно, что ввод и вывод четырехразрядного числа занимает по четыре такта работы устройства.

Кроме описанных регистров параллельного и последовательного действия, возможны и регистры смешанного действия. Так, в случае, когда регистрация может происходить довольно медленно, а считывание должно происходить быстро, можно применить регистр последовательно-параллельного действия с одним входом и количеством выходов, равным числу разрядов. Наоборот, при необходимости быстрой регистрации числа и допустимости его медленного поразрядного считывания применим регистр параллельно-последовательного действия с количеством входов, равным числу разрядов, и одним общим выходом.

Момент времени	Реле			
	P_4	P_3	P_2	P_1
t_0				
$t_1+\tau$				▨
$t_2+\tau$			▨	
$t_3+\tau$		▨		▨
$t_4+\tau$	▨		▨	▨
$t_5+\tau$		▨	▨	
$t_6+\tau$	▨	▨		
$t_7+\tau$	▨			
$t_8+\tau$				

Рис. 9. Последовательность состояний реле регистра.

В качестве элементов релейных ЗУ можно применить любые реле. Рассмотрим наиболее важные элементы с точки зрения использования их в регистрах: электромагнитные реле, электронно-ламповые и полупроводниковые триггеры, триггеры на газоразрядных приборах, феррит-диодные и феррит-транзисторные ячейки. В главе седьмой будут описаны триггеры на криотронах и параметроны.

8. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ РЕЛЕ

Простейшее электромагнитное реле представляет собой железный сердечник с намотанной на нем катушкой, под действием магнитного поля которой смещается якорь, замыкающий и размыкающий контакты электрической цепи. В обычном реле после прекращения входного сигнала катушка обесточивается; при этом якорь и контакты под действием пружины возвращаются в начальное положение. Для применения в ЗУ реле снабжают устройствами механической или электрической блокировки, которые держат якорь и контакты реле в рабочем состоянии до тех пор, пока на реле не поступит специальный сигнал, возвращающий их в первоначальное положение.

Такие контактные электромагнитные или, как их еще называют, электромеханические реле широко применялись в ранних типах вычислительных машин. Например, построенная в 1947 г. машина МАРК-11 (США) содержала около 13 000 электромеханических реле, работающих на постоянном токе напряжением 100 *в* и потреблением мощности около 6 *вт* каждое. Время срабатывания этих реле 6—10 *мсек*. Из этих реле около 5 тыс. были снабжены механическими защелками и использовались во внутренней памяти машины. Объем, необходимый для создания ЗУ на электромеханических реле, составляет около 20—40 *см*^{3} на 1 *дв. ед*.

Существуют специальные весьма быстродействующие электромеханические реле с временем срабатывания порядка миллисекунды и менее. Однако при таких больших скоростях работы реле мо-

гут управлять лишь одной-двумя цепями и, кроме того, надежность их заметно снижается.

Достоинства электромеханических реле заключаются в следующем: во-первых, способности обеспечивать так называемое полное переключение, когда при замкнутых контактах сопротивление контактного промежутка практически равно нулю, а при разомкнутых — бесконечности, и, во-вторых, возможности управления достаточно большими токами.

Однако ограниченная скорость срабатывания, малая надежность, чувствительность к вибрациям, большой расход энергии и громоздкость заставили полностью отказаться от применения электромеханических реле в блоках памяти современных быстродействующих машин.

ЗУ в различных устройствах автоматики, телемеханики и связи также все чаще строятся сейчас на других, более надежных запоминающих элементах.

В заключение следует упомянуть о возможности использования в относительно медленно действующих ЗУ бесконтактных магнитных реле с двумя устойчивыми состояниями, представляющих собой магнитные усилители, работающие в релейном режиме.

Бесконтактные магнитные реле имеют неограниченный срок службы, более надежны вследствие отсутствия подвижных частей и контактов, обладают высокой чувствительностью и не боятся вибрации. Однако вследствие низкого к. п. д., значительной инерционности и больших габаритов они могут найти лишь ограниченное применение в качестве ЗУ в некоторых устройствах промышленной автоматики.

9. СТАТИЧЕСКИЕ ТРИГГЕРЫ НА ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМПАХ

Применение электронных ламп позволило построить бесконтактные электронные реле со скоростью работы, превышающей скорость работы электромеханических реле в десятки тысяч раз.

Простейшее электронное реле представляет собой электронную спусковую схему или триггер, с двумя устойчивыми состояниями равновесия. Все схемы триггеров могут быть разделены на две группы — статические и динамические. В первых запоминание состояния происходит без движения сигнала в схеме, во вторых — при помощи движения сигнала в схеме элемента. На рис. 10 приведен один из простейших вариантов схемы статического триггера на двух вакуумных триодах. Приведенная схема представляет собой симметричный двухламповый усилитель с положительной обратной связью.

Практически этот триггер не может находиться в равновесном состоянии и обязательно переходит в одно из таких устойчивых состояний, когда ток в одной из ламп достигает максимума, а в другой лампе падает до минимума. Процессы в симметричном ламповом триггере широко освещены в литературе и поэтому здесь не рассматриваются.

При надлежащем сочетании элементов схемы переходный процесс в ней происходит лавинообразно, и в течение очень короткого промежутка времени, порядка нескольких микросекунд или даже менее микросекунды, триггер достигает одного из устойчивых состояний. Это устойчивое состояние будет сохраняться сколь угодно

долго, пока под влиянием соответствующего внешнего воздействия, например подачи отрицательного импульса на сетку отпертой лампы, триггер не переключится, т. е. не перейдет в другое устойчивое состояние.

Триггер с двумя устойчивыми состояниями может иметь два или один вход. В первом случае, соответствующем схеме на рис. 10, пусковой импульс подается всегда на один из входов, а второй

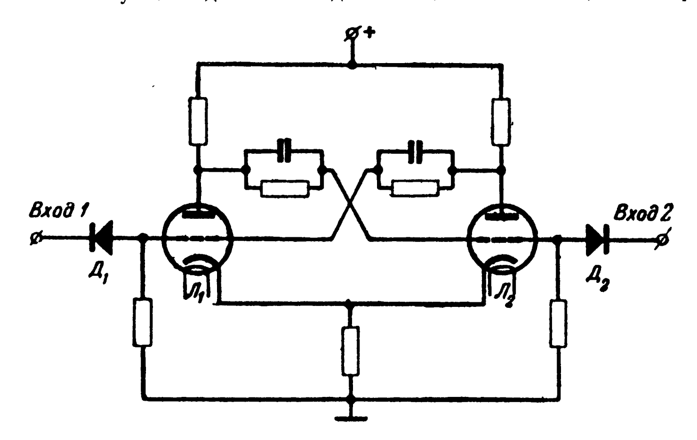


Рис. 10. Схема триггера на вакуумных триодах.

вход предназначается для возврата схемы в начальное состояние (гашение триггера).

Во втором случае входы *1* и *2* объединяются в общий так называемый счетный вход и отрицательный пусковой импульс поступает на сетки обеих ламп одновременно (рис. 11). Для гашения триггера здесь предназначен еще один вход, который через вентиль $Д_3$ соединен с сеткой второй лампы. Осуществим еще некоторые дополнения схемы. Сделаем через конденсатор отвод от анода левой лампы $Л_1$ и назовем его выходом триггера. Наконец, параллельно сопротивлению в цепи анода лампы $Л_2$ подключим индикаторную неоновую лампу, которая будет гореть в том случае, если на этом сопротивлении имеется достаточное падение напряжения, т. е. если лампа $Л_2$ отперта.

Условимся считать, что начальным состоянием триггера, соответствующим записи символа «0», будет такое состояние, когда лампа $Л_1$ отперта, а лампа $Л_2$ заперта. Рабочим состоянием, соответствующим записи в триггере символа «1», будем считать состояние, когда заперта лампа $Л_1$, а лампа $Л_2$ отперта. При этом горение неоновой лампы будет сигнализировать, что триггер находится в рабочем состоянии.

Переброска триггера из одного устойчивого состояния в другое происходит путем подачи на общий вход отрицательного импульса. Этот импульс, попадая на сетки обеих ламп, не оказывает никакого воздействия на уже запертую отрицательным сеточным напряжением лампу, но в то же время снижает ток в отпертой лам-

пе. В результате этого развивается лавинообразный процесс, который в конечном счете приводит к переброске триггера в другое устойчивое состояние. Так как при переходе из начального состояния в рабочее потенциал на аноде первой лампы резко повышается, то на выходе триггера при этом получается положительный импульс. При переходе же из рабочего состояния в начальное происходит резкое уменьшение потенциала на аноде первой лампы и триггер выдает на выход отрицательный импульс.

При подаче отрицательного импульса на вход гашения он попадает только на сетку второй лампы, так как вентиль $Д_2$ не пропу-

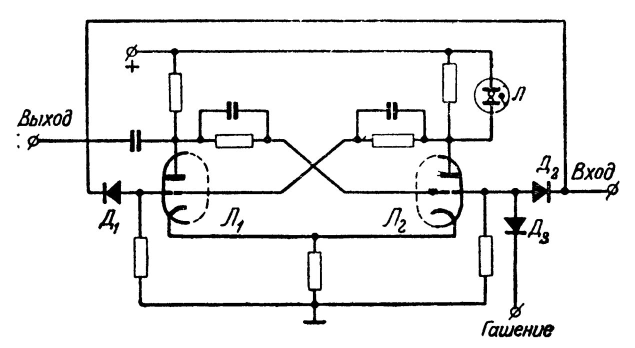


Рис. 11. Схема триггера со счетным входом.

скает его к сетке первой лампы. Следовательно, если триггер при этом находился в начальном состоянии, то его состояние не изменяется, а если он находился в рабочем состоянии, то происходит переброска его в начальное состояние.

Теперь представим себе, что на месте реле P_1, P_2, ..., P_n в регистрах, изображенных на рис. 6 и 7, стоят описанные триггеры, собранные, например, по схемам на рис. 10 или 11. Если проследить работу всей схемы в целом, то можно убедиться, что как параллельный, так и последовательный регистры будут успешно выполнять функции накопления, хранения и выдачи информации. При этом для записи на входы регистров нужно подавать код числа в виде отрицательных импульсов.

Как уже отмечалось, применение в регистрах ламповых триггеров позволяет создавать быстродействующие ЗУ. Однако они, как и при использовании электромеханических реле, остаются громоздкими и малоэкономичными (из-за расхода энергии на подогрев катодов лампы). Кроме того, помимо ламп, образующих триггерные ячейки, требуется примерно столько же ламп для построения управляющих цепей. Учитывая, что срок службы ламп ограничен, надежность ЗУ большой емкости на ламповых триггерах оказывается недостаточной из-за частых выходов из строя отдельных ламп.

Поэтому ЗУ большой емкости на ламповых триггерах не строятся, а применение их целесообразно лишь при построении регистров для запоминания одного или нескольких чисел.

Значительно более экономичны, надежны и имеют меньшие габариты регистры на триггерах с транзисторами.

10. ТРИГГЕРЫ НА ТРАНЗИСТОРАХ

В современных вычислительных машинах триггеры, как правило, строятся на плоскостных транзисторах различных типов. Один из типичных вариантов схемы триггера на плоскостных транзисторах приведен на рис. 12. Как и в схеме лампового триггера, отпирание одного из транзисторов благодаря связи между их цепями создает условия для запирания другого, и наоборот.

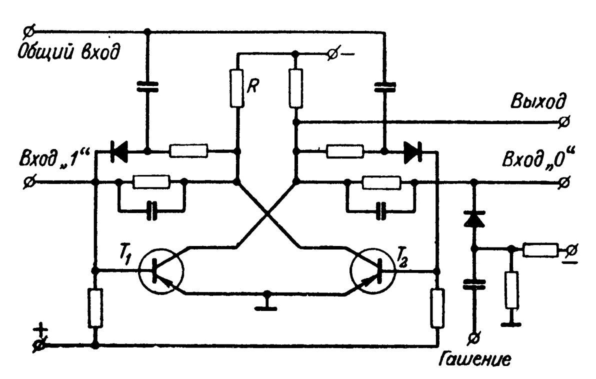


Рис. 12. Схема триггера на плоскостных транзисторах.

Управляющие сигналы могут подаваться как отдельно на каждую половину триггера через входы «1» и «0», так и на общий вход. В последнем случае триггер перебрасывается всегда в новое состояние по сравнению с тем, в каком он находился до поступления сигнала.

При подаче положительного импульса на вход «1» транзистор T_1 запирается, а в транзисторе T_2 устанавливается максимальный ток. Такое состояние триггера условимся считать рабочим. При этом на выходе получится высокий отрицательный потенциал, который можно использовать как сигнал считывания. При подаче положительного импульса на вход «0» или на вход гашения триггер переходит в начальное состояние, при котором транзистор T_2 заперт, ток в транзисторе T_1 максимальный, и, вследствие падения напряжения на сопротивлении R, созданного большим коллекторным током транзистора T_1, отрицательный потенциал на выходе будет мал.

Значительный интерес представляют схемы триггеров с непосредственными связями, которые строятся на транзисторах, имеющих хорошие усилительные и частотные свойства в области малых напряжений. К таким приборам относятся поверхностно-барьерные и микросплавные транзисторы.

Принцип построения схем с непосредственными связями заключается в следующем. Известно, что сопротивление коллекторного перехода транзистора при переключении из режима насыщения в режим отсечки резко меняется. Отпертый транзистор, работающий в режиме насыщения, имеет небольшое сопротивление коллекторного перехода, и поэтому напряжение на его коллекторе (в схеме с об-

щим эмиттером) при достаточно большом сопротивлении нагрузки в цепи коллектора весьма мало (порядка долей вольта). Следовательно, при непосредственном соединении коллектора такого транзистора с базой другого, включенного таким же способом, последний запрется, т. е. окажется в режиме отсечки.

На коллекторе запертого транзистора напряжение вследствие большого сопротивления коллекторного перехода практически равно напряжению источника питания коллектора. Если коллектор этого транзистора соединить с базой другого транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, то второй транзистор будет работать в режиме насыщения.

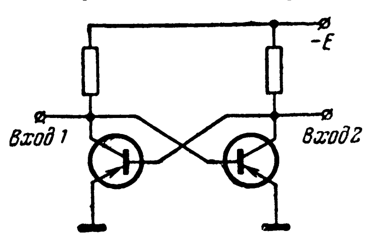


Рис. 13. Схема триггера с непосредственными связями.

Схема триггера с непосредственными связями приведена на рис. 13. Она всегда находится в одном из двух устойчивых состояний, которым соответствует отпертое состояние (режим насыщения) одного транзистора и запертое (режим отсечки) — другого.

Устойчивое состояние триггера сохраняется до тех пор, пока под влиянием внешнего сигнала не произойдет его опрокидывание в новое устойчивое состояние. Механизм опрокидывания триггера следующий. Пусть транзистор T_1 заперт, а транзистор T_2 отперт. Если на вход *1* подать положительный импульс, то он попадет на базу транзистора T_2 и запрет его. При этом произойдет резкое сни-

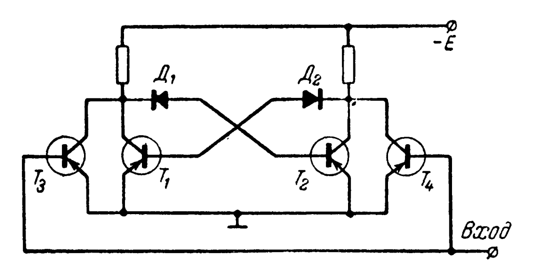


Рис. 14. Схема триггера с непосредственными связями и счетным входом.

жение коллекторного тока транзистора T_2, напряжение на его коллекторе станет равным напряжению источника питания, причем это напряжение подается на базу транзистора T_1 и отпирает его. Это вызывает увеличение коллекторного тока транзистора T_1, повышение (практически до нуля) напряжения на его коллекторе, а значит, и на базе транзистора T_2, и запирание последнего.

Аналогично, подавая положительный импульс на вход *2*, можно перебросить триггер в другое устойчивое состояние, при котором транзистор T_1 оказывается запертым, а T_2 — отпертым.

На рис. 14 приведена схема триггера с непосредственными связями и общим (счетным) входом. В этой схеме на общий вход подаются отрицательные импульсы, усиливаемые тем из запускающих транзисторов (T_3 или T_4), коллектор которого находится в момент поступления импульса под более высоким отрицательным потенциалом. Вследствие этого усиленный импульс поступает на базу отпертого транзистора T_1 или T_2, благодаря чему и опрокидывается триггер.

Схем триггеров с непосредственными связями характеризуются исключительно простой структурой, минимальным количеством деталей, надежностью, дешевизной, экономичностью, хорошими частотными характеристиками и возможностью питания от низковольтных (порядка 1,5 *в*) источников.

11. ДИНАМИЧЕСКИЕ ТРИГГЕРЫ

В схеме динамического триггера, как упоминалось выше, запоминание сигнала сопровождается движением сигнала в элементе. При этом триггер, в котором зафиксирован код «1», дает на выходе непрерывную периодическую последовательность импульсов, а при запоминании «0» импульсы на выход не поступают.

Динамические триггеры могут строиться в различных вариантах на лампах, транзисторах, ферритовых и других элементах. В качестве примера рассмотрим работу упрощенной принципиальной схемы динамического триггера на трехэлектродной лампе (рис. 15).

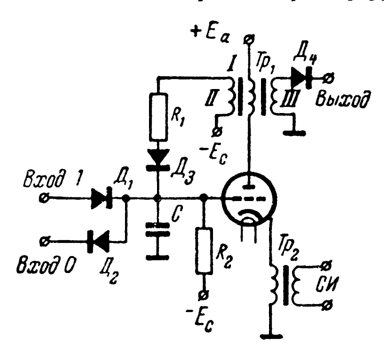


Рис. 15. Схема лампового динамического триггера с запоминающей емкостью.

В исходном состоянии лампа заперта достаточно большим отрицательным напряжением смещения — E_c, которое подается на ее сетку через сопротивление R_2. При этом синхронизирующие импульсы *СИ*, вводимые через трансформатор $Тр_2$ в цепь катода лампы, не вызывают колебаний тока в ее анодной цепи.

Если на вход «1» поступает положительный импульс записи единицы, то конденсатор *C* заряжается, лампа отпирается, синхронизирующие импульсы проходят по анодной цепи и трансформируются из обмотки *I* в обмотки *II* и *III* трансформатора $Тр_1$. С обмотки *III* эти импульсы поступают на выход триггера, а с обмотки *II* через сопротивление и диод $Д_3$ попадают на конденсатор *C*. Благодаря этому поддерживается положительный заряд конденсатора и на сетке лампы сохраняется положительный потенциал, обусловливающий отпертое состояние лампы.

Так как конденсатор *C* подзаряжается каждым очередным синхронизирующим импульсом, то состояние динамического триггера, при котором он непрерывно выдает импульсы на выход, может поддерживаться неограниченно долго. Конденсатор *C* как бы запоми-

нает запись кода «1», почему описанную схему и называют триггером с запоминающей емкостью.

Для стирания кода «1», т. е. для возвращения триггера в исходное состояние, нужно подать отрицательный импульс на вход «0». При этом конденсатор C быстро разряжается и на сетку подается отрицательный потенциал, вызывающий запирание лампы. Таким образом, циркуляция импульсов в триггере прекращается и они перестают поступать на выход схемы.

Схемы динамических триггеров, работающие как грубые усилители, просты и надежны. Они характеризуются высоким входным и низким выходным сопротивлением, чем облегчается их согласование с логическими схемами на диодах. Кроме того, схемы мало чувствительны к внешним помехам и разбросу параметров деталей. Благодаря этим достоинствам динамические триггеры получили широкое применение в цифровой вычислительной технике в качестве элементов счетчиков, регистров, арифметических устройств и других блоков.

12. ТРИГГЕРЫ НА ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ПРИБОРАХ

Для создания счетчиков и регистров в схемах автоматики и телемеханики и в различных установках для научных исследований применяются триггеры на газоразрядных приборах.

На рис. 16 приведена схема тиратронного триггера. Подобно ламповому, ток всегда проводит только один из тиратронов. Пусть

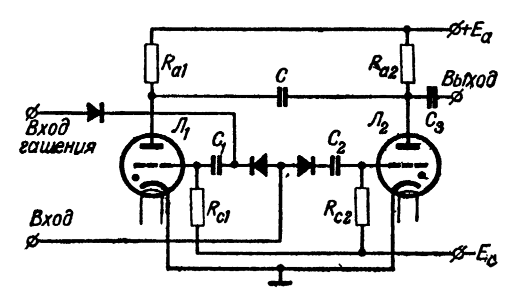


Рис. 16. Схема триггера на тиратронах.

в начальном состоянии это будет тиратрон $Л_1$. Тогда вследствие малого сопротивления зажженного тиратрона почти все анодное напряжение будет падать на сопротивлении R_{a1}, а на аноде тиратрона $Л_2$ будет полное анодное напряжение E_a. Следовательно, и конденсатор C будет заряжен до напряжения E_a.

Если на общий вход триггера поступит положительный импульс, то он никак не воздействует на уже работающий тиратрон $Л_1$, сетка которого после зажигания потеряла свое управляющее действие, и зажжет тиратрон $Л_2$. Потенциал на аноде вспыхнувшего тиратрона резко снизится, и конденсатор C начнет разряжаться по цепи, включающей вспыхнувший тиратрон $Л_2$, источник анодного питания и сопротивление R_{a1}. Так как при этом напряжение конденсатора оказывается подключенным параллельно тиратрону $Л_1$ отрицательным полюсом к его аноду, то тиратрон $Л_1$ погаснет и

установится новое рабочее состояние триггера. В этом состоянии проводит ток тиратрон $Л_2$, а тиратрон $Л_1$ заперт. Следующим положительным импульсом можно перевести триггер опять в начальное состояние и т. д. Для гашения триггера можно предусмотреть специальный вход гашения, положительный импульс с которого будет попадать на сетку только первого тиратрона, зажигать его и, следовательно, всегда возвращать триггер в начальное состояние. Изменение потенциала на аноде тиратрона $Л_2$ через конденстор C_3 подается на выход и создает сигнал считывания информации.

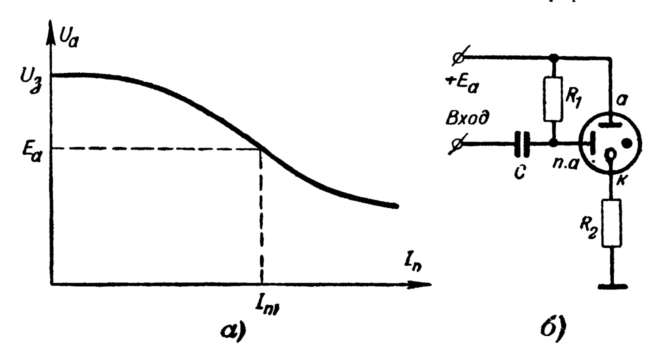


Рис. 17. Безнакальный тиратрон.
а — характеристика; *б* — схема включения.

Достоинство тиратронного триггера заключается в возможности получения достаточно больших выходных сигналов, так как анодный ток тиратронов значительно превышает анодный ток вакуумных ламп. Однако из-за относительной медленности процессов деионизации в газоразрядных приборах схемы на тиратронах значительно уступают в скорости срабатывания схемам на вакуумных и на полупроводниковых приборах. Время срабатывания тиратронного триггера измеряется сотнями микросекунд или даже миллисекундами.

Еще один недостаток триггеров на тиратронах, как и на вакуумных лампах, заключается в их неэкономичности вследствие значительных затрат энергии на нагрев катодов, а также ограниченного срока службы и возможности выхода из строя ламп из-за перегорания нити накала. С этой точки зрения значительный интерес представляют триггеры на безнакальных тиратронах, получающие все большее распространение в качестве элементов регистров.

Безнакальный тиратрон, или тиратрон с холодным катодом, представляет собой трехэлектродную лампу диаметром 10 и высотой 35 *мм*, наполненную разреженным неоном под давлением около 10 *мм рт. ст.* Катодом лампы служит цилиндр с кислородно-цезиевым покрытием внутренней поверхности. Анод представляет собой отрезок проволоки, заключенный в стеклянную трубку и зачищенный от стекла лишь с торца. Третьим электродом, который носит название пускового анода, служит диск, помещенный между катодом и анодом.

На характеристике зажигания (пусковой характеристике), приведенной на рис. 17,*а*, $U_з$ представляет собой потенциал на основном

аноде, необходимый для зажигания лампы при отключенном пусковом аноде. Если подать на анод тиратрона (рис. 17,*б*) напряжение $E_а < U_з$, то, как видно из характеристики, лампа не вспыхнет до тех пор, пока ток $I_п$ через пусковой анод не достигнет величины $I_{п1}$. Ток $I_п$ в цепи пусковой анод-катод ограничен большим сопротивлением R_1. Благодаря этому $I_п < I_{п1}$, зажигания не происходит и лампа находится в состоянии тихого (темного) разряда. При пода-

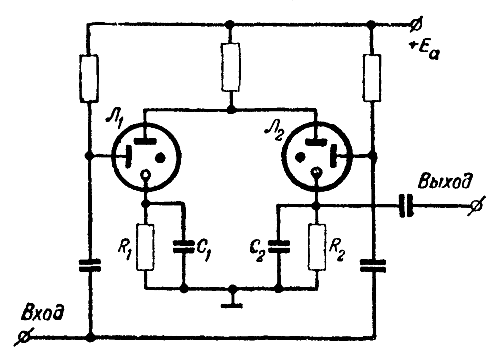


Рис. 18. Схема триггера на безнакальных тиратронах.

че на вход положительного импульса лампа вспыхивает и при соответственно выбранном не слишком большом сопротивлении R_2 (порядка нескольких десятков килоом) остается в зажженном состоянии — в режиме нормального тлеющего разряда.

Схема триггера на безнакальных тиратронах приведена на рис. 18. Работает эта схема следующим образом. Пусть в начальном состоянии горел первый тиратрон $Л_1$. При этом конденсатор C_1 был заряжен до величины падения напряжения, создаваемого проходящим по сопротивлению R_1 рабочим током. При поступлении на пусковые аноды тиратронов управляющего положительного импульса возрастает пусковой ток второго тиратрона, отчего он вспыхивает.

Но так как в первый момент (пока не зарядится конденсатор C_2) разность потенциалов между анодами ламп и землей устанавливается равной падению напряжения на тиратроне, а конденсатор C_1 был заряжен, то на тиратроне $Л_1$ напряжение оказывается ниже необходимого для поддержания горения и он гаснет. Аналогично при подаче следующего управляющего импульса опять происходит переброска триггера из рабочего положения в начальное.

Выходной сигнал можно получить с отвода от сопротивления R_1 или R_2.

В счетных устройствах для физических исследований все большее применение получают специальные газоразрядные счетные лампы, отличающиеся экономичностью, простотой схемы и большим сроком службы. Применяются эти лампы в некоторых случаях и в установках промышленной электроники и блоках памяти вычислительных устройств.

В большинстве случаев выпускаемые промышленностью газоразрядные счетные лампы предназначаются для счета в десятичной си-

стеме счисления, и поэтому они получили название декатронов. Декатроны содержат анод и три катодных кольца, изолированных друг от друга. На каждом кольце расположено по десять штырьков, просматривающихся сквозь стекло баллона. Один из катодов служит основным, или индикаторным, а два других — переносящими, или подкатодами.

Принцип действия декатрона заключается в переносе свечения последовательно с одного индикаторного штырька на последующий по мере поступления в схему отсчитываемых (запоминаемых) импульсов. Штырьки подкатодов выполняют функцию промежуточных звеньев, как бы пусковых электродов, осуществляющих местную подготовку зоны разреженного газа у следующего штырька индикаторного катода.

Отечественной промышленностью выпускаются декатроны двух типов (ЕГ1 и ЕГ2).

13. ФЕРРИТ-ДИОДНЫЕ И ФЕРРИТ-ТРАНЗИСТОРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Широкое применение в цифровой вычислительной технике получили элементы релейного действия, построенные на ферритовых сердечниках в сочетании с полупроводниковыми диодами и транзисторами. В этих схемах ферритовые сердечники выполняют функции запоминания информации, а диоды и триоды работают как вспомогательные элементы. Прежде чем рассматривать работу феррит-диодных и феррит-транзисторных схем, приведем элементарные сведения о ферритовых сердечниках.

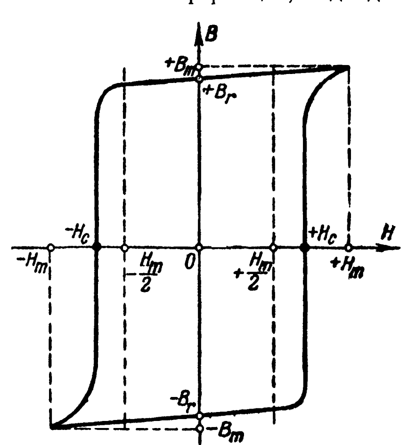


Рис. 19. Петля гистерезиса феррита, близкая к прямоугольной форме.

Ферриты, или оксиферы, представляют собой комплексные металлические окислы (соли железной кислоты). Общая формула ферритов имеет вид $MeO \cdot Fe_2O_3$, где Me — тот или иной металл.

Для изготовления элементов ЗУ получили применение магний-марганцевые ферриты, составленные по формуле $MgO \cdot MnO \cdot Fe_2O_3$ в весовом соотношении 52 : 7 : 41 и характеризующиеся прямоугольной петлей гистерезиса.

Наиболее широко в качестве элементов ЗУ применяются ферритовые сердечники тороидальной формы, обладающие высоким удельным электрическим сопротивлением (до 10^9—10^{11} *ом · см*), коэрцитивной силой порядка десятков *а/м*, индукцией насыщения и остаточной индукцией порядка 0,15—0,3 *тл*. Они способны быстро перемагничиваться (за время порядка 1 *мксек* и менее) и сколь угодно долго

сохранять магнитное состояние. Форма их петли гистерезиса близка к прямоугольной.

Петля гистерезиса феррита приведена на рис. 19. Как видно из графика, при напряженности поля $+H_m$ индукция в магнитном материале достигает величины $+B_m$. После прекращения действия напряженности поля сохраняется остаточная индукция $+B_r$. Если даже создать напряженность поля противоположного направления порядка $H_m/2$ и более, то индукция сохранит положительное направление, и хотя несколько уменьшится, но останется близкой к $+B_r$. Только когда напряженность поля достигает коэрцитивной силы $-H_c$, происходит перемагничивание материала, при $H=-H_m$ индукция достигает $-B_m$ и сохраняет после прекращения действия напряженности значение $-B_r$. Таким образом, материал с прямоугольной петлей гистерезиса характеризуется двумя устойчивыми состояниями ($B=+B_r$ и $B=-B_r$), причем, чтобы материал надежно перемагнитился из одного устойчивого состояния в другое, нужно создать напряженность поля $|H|\geqslant|H_m|$.

Описанные свойства ферритовых сердечников служат физической основой для использования их в качестве запоминающих элементов. При этом намагниченности одного знака, например положительной, приписывают код «1», а намагниченности другого знака — код «0».

Качество материала с точки зрения его способности устойчиво сохранять намагниченность после прекращения действия напряженности поля характеризуют статическим коэффициентом прямоугольности $K=B_r/B_m$, равным 0,8—0,95.

У лучших образцов ферритов с прямоугольной петлей гистерезиса коэффициент K достигает значения 0,96—0,98. Статический коэффициент прямоугольности служит важным показателем качества запоминающих свойств сердечника.

Еще более важной характеристикой ферритовых сердечников, применяемых в ЗУ, является так называемый динамический коэффициент прямоугольности $R=B_{(-H_m/2)}/B_m$, где $B_{(-H_m/2)}$ — магнитная индукция при напряженности поля $-H_m/2$.

Тороидальные сердечники, применяемые в ЗУ, могут иметь различные размеры. Внешний диаметр их колеблется в пределах от 10 до 0,7 *мм*, внутренний диаметр — соответственно от 5 до 0,5 *мм*. При этом проявляется тенденция применения все более миниатюрных сердечников, требующих для перемагничивания затраты меньшей мощности.

Время перемагничивания сердечника τ зависит от напряженности приложенного перемагничивающего поля H и определяется выражением

$$\tau=\frac{S_w}{H-H_0},$$

где S_w — коэффициент перемагничивания, являющийся параметром данного материала. Для ферритов с прямоугольной петлей гистерезиса S_w=30—50 *а · мксек/м*;

H_0 — так называемая пороговая напряженность, величина одного порядка с коэрцитивной силой.

Рассмотрим некоторые схемы регистров, построенных на ферритовых сердечниках в сочетании с полупроводниковыми элементами.

Одно из типичных звеньев такого рода представляет собой феррит-диодная схема (ячейка), широко используемая в сдвигающих регистрах.

На рис. 20 изображен простейший вариант схемы однотактного сдвигающего регистра. Каждое звено здесь содержит сердечник Φ с прямоугольной петлей гистерезиса, на котором имеются входная w_1, выходная w_2 и продвигающая w_3 обмотки; диод $Д$, конденсатор C и сопротивление R.

В сдвигающих регистрах информация, считываемая под воздействием продвигающего импульса из запоминающего элемента, должна воздействовать лишь на следующий момент.

Если, например, в сердечнике Φ_1 записана «1», а в сердечнике Φ_2 записан «0», то под влиянием продвигающего импульса сер-

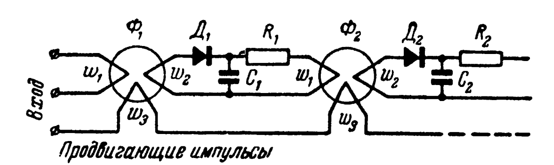


Рис. 20. Однотактный сдвигающий регистр на феррит-диодных ячейках.

дечник Φ_1 перемагничивается и в его выходной обмотке w_2 индуктируется положительный импульс э. д. с., обусловливающий протекание тока, заряжающего конденсатор C_1 через диод $Д_1$. Сопротивление R_1 ограничивает ток, который ответвляется при этом в обмотку w_1 следующего сердечника Φ_2. Под влиянием этого тока в сердечнике Φ_2 создается незначительная положительная м. д. с., но так как продвигающий импульс создает в нем в то же время отрицательную м. д. с., сердечник Φ_2 остается в состоянии «0».

После прекращения продвигающего импульса перемагничивание сердечника Φ_1 прекращается и заряд конденсатора C_1 также прекращается. Конденсатор C_1 разряжается через сопротивление R_1 и обмотку w_1 второго сердечника Φ_2, который перемагничивается в состояние «1». Индуктируемый при этом в его выходной обмотке отрицательный импульс не заряжает конденсатор C_2 благодаря вентильному действию диода $Д_2$.

Таким образом, код «1» переместится из сердечника Φ_1 в Φ_2, т. е. на один разряд вправо. Под влиянием следующего продвигающего импульса код «1» переместится из сердечника Φ_2 в Φ_3 и т. д.

Важная проблема при конструировании сдвигающих регистров на феррит-диодных ячейках заключается в предотвращении движения информации в обратном направлении. Наиболее радикально эта задача решается применением двухтактных и трехтактных регистров, в которых возбуждение соседних двух или трех сердечников продвигающими импульсами происходит не одновременно, а с некоторым сдвигом.

В феррит-транзисторной ячейке транзистор выполняет наряду с функцией вентиля еще и функцию усилителя мощности, что повышает надежность этих ячеек по сравнению с феррит-диодными.

Схема простейшего однотактного сдвигающего регистра на фер-

рит-транзисторных ячейках приведена на рис. 21. Направления обмоток w_1 и w_3 каждого сердечника и их соединение через транзистор таковы, что между ними имеется положительная обратная связь. Однако если сердечник находится в состоянии насыщения, то его магнитная проницаемость мала и коэффициент обратной связи меньше единицы. Если же импульсом, поданным извне, сердечник будет выведен из состояния насыщения, то его магнитная проницаемость резко возрастет и коэффициент обратной связи станет больше единицы. Изменение тока в обмотке w_3 (цепи базы) вызывает вследствие усилительного действия транзистора большее

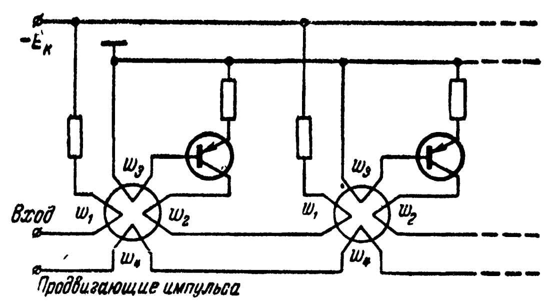


Рис. 21. Однотактный сдвигающий регистр на феррит-транзисторных ячейках.

изменение тока в обмотке w_1 (цепи коллектора). Благодаря наличию магнитной связи между обмотками это приводит к еще большему изменению тока в обмотке w_3 в том же направлении и т. д. Этот регенеративный процесс продолжается до тех пор, пока сердечник не достигнет состояния насыщения в новом направлении.

Кроме рассмотренных элементарных схем феррит-диодных и феррит-транзисторных ячеек, разработно большое количество вариантов более сложных, надежных и совершенных схем, описанных в соответствующей литературе. Кроме того, на ферритовых сердечниках в сочетании с полупроводниковыми элементами построены триггеры, которые также могут использоваться в качестве элементов регистров, предназначенных для сдвига и хранения многоразрядных чисел.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА С МАГНИТНОЙ ЗАПИСЬЮ

14. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ

Магнитная запись информации находит широкое применение для создания ЗУ различного назначения. Почти во всех современных электронных вычислительных машинах применяются накопите-

ли на магнитной ленте, барабане или дисках. Магнитная лента применяется также и для ввода данных в машины. На магнитной ленте часто записывают программу работы автоматизированных металлорежущих станков и других производственных агрегатов. Магнитная запись применяется для автоматического переприема телеграмм, автоматической регистрации данных научных экспериментов, телеизмерений и т. п.

Столь широкое и разнообразное использование ЗУ с магнитной записью объясняется их высокой экономичностью, надежностью, сколь угодно длительной сохранностью информации, очень большой удельной емкостью. Значительную роль сыграло также и то обстоятельство, что к моменту появления широкой потребности в запоминающих устройствах для хранения дискретной информации уже получила большое распространение магнитная запись звука; при этом значительную часть схемных и конструктивных решений удалось с незначительными изменениями использовать для хранения дискретной информации.

Физической основой магнитной записи является способность ферромагнитных материалов сохранять состояние остаточного намагничивания, соответствующее создаваемой при записи напряженности магнитного поля.

В настоящее время для этой цели применяется тонкий слой лака, содержащий мельчайшие частицы ферромагнитного порошка. Этот слой лака наносится на ленту (магнитная лента), цилиндрическую основу (магнитный барабан) или диск (магнитный диск).

Ферромагнитный порошок состоит из мелких, размером 0,3—0,8 *мк*, кристалликов окиси железа Fe_2O_3. Толщина магнитного слоя (ферролака) колеблется в пределах 10—30 *мк*.

В последнее время все большее применение при изготовлении магнитных барабанов и дисков находят гальванические покрытия. Хорошо себя зарекомендовало покрытие толщиной 7—15 *мк*, состоящее из 80% кобальта и 20% никеля, наносимое гальваническим путем на тщательно очищенную поверхность барабана.

Магнитное поле, при помощи которого записывается информация, создается магнитными головками, представляющими собой специально сконструированный кольцевой с зазором электромагнит, по обмотке которого пропускаются импульсы тока записи.

В процессе записи ферромагнитный носитель информации должен перемещаться относительно зазора записывающей головки. При этом элементарные участки носителя, проходя под зазором головки, намагничиваются соответственно величине и направлению импульсов тока записи, протекающих в данный момент по обмотке головки.

Возникшее при записи магнитное состояние сохраняется в магнитном слое вследствие явления остаточного магнетизма и после того, как элементарный участок его пройдет мимо головки.

Записанная информация считывается путем перемещения магнитного носителя относительно зазора воспроизводящей (считывающей) головки, по своей конструкции аналогичной записывающей.

При этом часть магнитного потока элементарных намагниченных участков замыкается через сердечник головки и изменение этого потока во времени наводит э. д. с. в ее обмотке.

Для пояснения процессов записи рассмотрим изображенную на рис. 22 петлю гистерезиса магнитного материала, характеризую-

щую процессы, происходящие в нем при намагничивании и перемагничивании.

Ненамагниченное состояние материала характеризуется точкой 0. Если приложить к материалу положительную напряженность поля $+H_m$, то его состояние будет характеризоваться точкой *А*, а после прекращения действия напряжености поля состояние материала будет характеризоваться точкой *Б*, т. е. он сохранит остаточную магнитную индукцию $+B_r$. Для перемагничивания

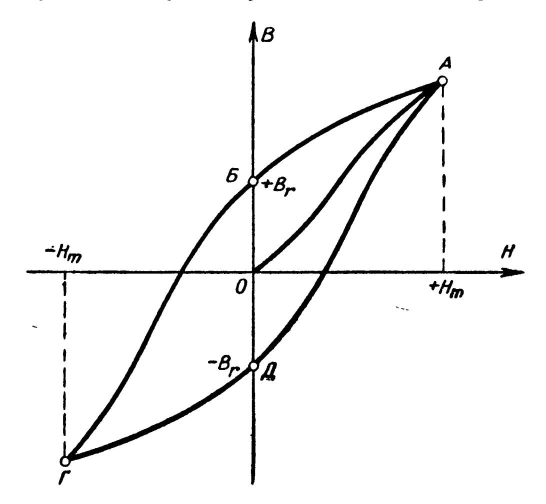


Рис. 22. Петля гистерезиса ферромагнитного материала.

материала к нему нужно приложить отрицательную напряженность $-H_m$, после прекращения действия которой состояние материала будет характеризоваться точкой *Д*, соответствующей остаточной магнитной индукции $-B_r$.

Если условно приписать, например, состоянию отрицательной намагниченности нулевое значение, а состоянию положительной намагниченности — единичное, то каждый элементарный участок магнитного слоя будет представлять собой запоминающую ячейку с двумя устойчивыми состояниями — «0» и «1».

Можно приписать также значение «0» ненамагниченному состоянию носителя и значение «1» — намагниченному.

Запись информации осуществляется тремя основными способами:

1) по двум уровням с промежутками между знаками;
2) по двум уровням без промежутков между знаками;
3) по трем уровням.

На рис. 23 приведены кривые изменения потока в сердечнике считывающей головки и кривые э. д. с., наводимой в ее обмотке при записи двоичного числа 10110, осуществленной каждым из трех способов. При первом способе записи поток в сердечнике (кривая a_1) либо остается на уровне Φ_0, соответствующем «0» (или отсут-

ствию сигнала), либо достигает уровня Φ_m, соответствующего «1». Этот график приблизительно совпадает с кривой интенсивности продольного намагничивания материала носителя. Уровни Φ_0 и Φ_m могут соответствовать насыщению материала в положительном и отрицательном направлениях или размагниченному состоянию и насыщению в одном из направлений.

Электродвижущая сила, наводимая в этом случае в обмотке при считывании, представлена кривой $б_1$. Каждому импульсу изменения магнитного потока, очевидно, соответствуют два импульса э. д. с. — импульс одного направления при нарастании потока и импульс противоположного направления при его убывании.

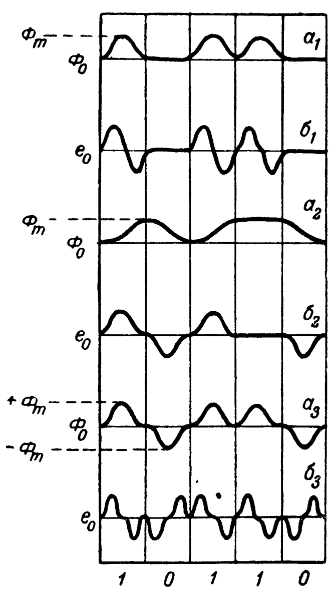


Рис. 23. Кривые изменения магнитного потока и э. д. с. в считывающей головке.

При втором способе записи магнитное состояние носителя, а следовательно, и поток в считывающей головке (кривая a_2) изменяются от одного уровня к другому лишь в том случае, если следующий знак записи отличается от предшествующего.

Электродвижущая сила в обмотке считывающей головки при этом (кривая $б_2$) имеет вид импульса одного направления при переходе от «1» к «0» и импульса другого направления — при переходе от «0» к «1». Если же следующий кодовый знак повторяет предшествующий («0» после «0» или «1» после «1»), то магнитный поток в головке не изменяется и, следовательно, э. д. с. в обмотке не идуктируется. При такой системе записи несколько усложняется расшифровка результатов считывания, но зато увеличивается почти вдвое возможная плотность записи и, значит, при той же скорости движения носителя относительно головки примерно вдвое увеличивается скорость считывания информации.

Оба описанных способа записи по двум уровням обладают тем недостатком, что при наличии только двух возможных состояний носителя отсутствие записи информации обязательно должно изображаться так же, как и запись одного из двоичных знаков. При этом в некоторых случаях значительно снижается надежность работу ЗУ и уменьшается достоверность считываемой информации.

Недостаток этот устраняется при системе записи по трем уровням, когда различные знаки информации обозначаются сигналами различной полярности, а отсутствие сигнала указывает на то, что данная ячейка вообще свободна от информации.

При такой записи материал должен предварительно размагничиваться убывающим по амплитуде переменным полем, а затем код «1» записывается путем насыщения участка магнитного носителя в одном направлении, а код «0» — насыщением участка в про-

тивоположном направлении. Изменение магнитного потока и э. д. с. в обмотке считывающей головки при записи по этому способу характеризуется кривыми a_3 и $б_3$ на рис. 23.

В зависимости от условий работы ЗУ и предъявляемых к ним требований в различных устройствах хранения информации с магнитной записью может применяться любой из трех описанных способов записи.

15. КОНСТРУКЦИЯ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ С МАГНИТНОЙ ЗАПИСЬЮ

Магнитные головки. Устройство магнитных головок весьма разнообразно и зависит от типа и конструкции носителя информации и способа записи. Существуют однополюсные, двухполюсные, многополюсные и кольцевые головки. В современных ЗУ почти исключительно используется продольная запись кольцевыми магнитными головками. Такая головка имеет кольцевой сердечник, состоящий из тонких изолированных ферромагнитных пластин. На сердечнике намотаны одна или две обмотки.

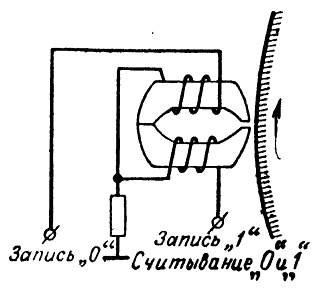


Рис. 24. Записывающая и считывающая головка.

В кольцевой головке для записи и считывания сердечник имеет узкий зазор с высоким магнитным сопротивлением. При прохождении тока по обмотке в области зазора возникает сильное магнитное поле, вызывающее намагничивание соответствующих участков магнитного носителя.

При считывании во время прохождения носителя мимо зазора сердечника в нем образуется переменный магнитный поток, индуктирующий в обмотках головки импульсы э. д. с. считывания.

У стирающих головок зазор делается значительно бóльшим, при этом стирание осуществляется обычно достаточно сильным вначале и постепенно убывающим до нуля переменным током.

На рис. 24 схематически изображена головка для записи и считывания, применяемая в ЗУ на магнитном барабане электронной вычислительной машины М-2, в котором используется метод записи по трем уровням. Магнитопровод этой головки состоит из двух половин, набранных из листового пермаллоя. На каждой половине намотана обмотка, состоящая из 300 витков провода ПЭЛШО 0,9 *мм*, одна обмотка служит для записи «0», а вторая— для записи «1» и считывания.

Обмотки намотаны так, что они создают противоположно направленные м. д. с. Поэтому как «0», так и «1» записываются однополярными импульсами, направляемыми в ту или другую обмотку.

Зазор в сердечнике головки у поверхности магнитного носителя образуется прокладкой из латунной фольги толщиной 0,02 *мм*.

ЗУ на магнитной ленте применяются почти во всех электронных машинах в качестве внешних накопителей информации с большой емкостью, а в некоторых случаях и в качестве быстродей-

ствующих устройств для ввода данных в машину. Лента представляет собой эластичную основу из ацетилцеллюлозы, триацетата, поливинилхлорида или других подобных веществ, на которую нанесен слой лака, содержащий по объему 30—45% мельчайшего ферромагнитного порошка.

В ЗУ часто применяется стандартная магнитная лента типа 1. Она представляет собой узкую ацетилцеллюлозную основу шириной 6,25 *мм* и толщиной около 45 *мк* с нанесенным на нее слоем ферролака толщиной около 15 *мк*. Применяется также и более широкая лента. Например, в машине «Урал» применяется лента типа 1 шириной 35 *мм* и общей толщиной 120 *мк* при толщине ферромагнитного слоя около 15 *мк*. Лента используется в виде рулонов в специальных кассетах. Длина ленты в рулоне составляет обычно 500—1 000 *м*.

Запись на ленте производится в большинстве случаев на нескольких расположенных по ширине параллельных дорожках. Плотность записи достигает в настоящее время нескольких десятков дв. ед. на 1 *мм*. Ширина дорожек составляет от 3—4 до 1 *мм*. В результате на ленте удается создавать весьма емкие ЗУ, допускающие быстрое последовательное считывание информации.

Так, например, в машине М-2 на рулоне ленты длиной 600 *м* размещается до 50 000 34-разрядных двоичных чисел. Такого же порядка и емкость рулона ленты машины «Урал», вмещающего около 40 000 36-разрядных двоичных чисел.

Скорость записи и считывания в ЗУ на магнитной ленте определяется свойствами носителя, плотностью записи и допустимыми скоростями перемотки ленты. Так, в машине М-2 при скорости движения ленты 0,4 *м/сек* обеспечивается считывание со скоростью около 1 200 *дв. ед.* в 1 *сек*. В машине «Урал» эта скорость составляет около 2 700 *дв. ед.* в 1 *сек*. Наибольшая скорость считывания с магнитной ленты, достигнутая в настоящее время в американской машине НОРК, составляет около 70 000 *дв. ед.* в 1 *сек* при скорости движения ленты 4 *м/сек*.

Дальнейшее повышение скорости очень затруднительно из-за возможных обрывов ленты при пусках и остановках лентопротяжного устройства. Поэтому необходимо предпринимать специальные меры для преодоления сил инерции бобин. Для этой цели в одних случаях применяют для вращения бобин тщательно подобранные сервомоторы, в других случаях используются безбобинные устройства, в которых лента с лентопротяжных роликов падает свободными витками в специальные узкие карманы.

Так как благодаря очень близкому расположению элементов записи на магнитной ленте невозможно ее пустить или остановить точно против заданной ячейки, то запись и считывание обычно производятся целыми «блоками» или «зонами» чисел. Между зонами оставляют промежутки.

При этом применяются два метода адресации блоков. Первый заключается в простом последовательном отсчитывании номеров зон вдоль длины ленты, начиная с определенного ее места. Таким образом, в машине всегда зафиксирован номер только что использованной зоны, и при получении нового адреса происходит перемотка ленты в ту или иную сторону на нужное количество зон до нахождения нужной зоны. Внутри каждой данной зоны имеется

определенное количество чисел или другой информации и, таким образом, можно отыскать и считать нужное по порядку число.

Второй метод адресации ленты — запись на ней самой в закодированном виде адресов зон около каждой из них. При перемотке ленты происходят: считывание адресов, сравнение их с требуемым адресом и считывание информации из зоны при совпадении этих адресов.

Применение на одной бобине особенно длинных лент невыгодно, так как при необходимости считывания определенной зоны затрачивается очень много времени на перемотку ленты для отыскания зоны. Так, при длине ленты 1 000 *м* и максимальной скорости движения 4 *м/сек* нахождение нужной зоны может занимать до 4 *мин*. Этот недостаток до известной степени ликвидируется одновременным использованием нескольких лент, таким образом, что, пока считывается информация с одной ленты, остальные заблаговременно подводятся нужными зонами к считывающим головкам.

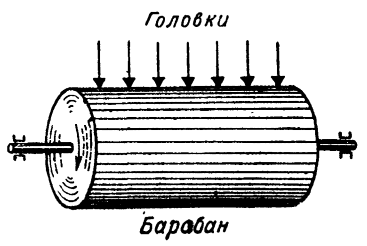


Рис. 25. Схематическое устройство запоминающего устройства на магнитном барабане.

Важные достоинства ЗУ на магнитных лентах заключаются в их неограниченной емкости, высокой экономичности (стоимость хранения каждой двоичной единицы информации на магнитной ленте самая низкая), исключительной компактности, постоянстве и надежности хранения.

Основные недостатки ЗУ на магнитных лентах заключаются в малой средней скорости обращения (с учетом времени на отыскание нужной ячейки), а также в том, что отыскание ячейки требует механических перемещений ленты, с которыми связана возможность ее обрывов.

ЗУ на магнитном барабане. Значительного уменьшения времени обращения к нужной ячейке ЗУ с магнитной записью можно добиться, применяя вместо ленты магнитный барабан (рис. 25). Он представляет собой вращающийся цилиндр из диамагнитного металла, чаще всего алюминия или его сплавов, с ферромагнитным покрытием толщиной 10—100 *мк*. Магнитные головки в простейшем случае располагаются в ряд по образующим барабана. Таким образом, информация записывается на дорожках, представляющих собой замкнутые параллельные окружности.

Соседние головки расположены на таких расстояниях, что на 1 *см* длины барабана может размещаться 5—8 дорожек (в лучших образцах—12). Плотность записи по длине дорожек в барабанах современной конструкции достигает 30—40 знаков на 1 *см*.

Диаметр барабана составляет обычно 10—30 *см*, достигая в некоторых случаях до 80 *см*. Изготовление барабанов с бо́льшим диаметром не рекомендуется, ибо при этом возрастает опасность их деформации при вращении и нагреве. Последнее обстоятельство очень важно, так как зазор между поверхностью барабана и магнитными головками составляет не более 100 *мк* и деформация ба-

рабана может привести к выходу его из строя вследствие стирания магнитного слоя.

Барабаны средней величины имеют емкость порядка нескольких десятков тысяч двоичных единиц. Например, на магнитном барабане машины БЭСМ можно хранить 5 120 32-разрядных двоичных чисел. Максимальная емкость разработанных в настоящее время магнитных барабанов достигает 1,5—2 млн. *дв. ед.*

Рис. 26. Внешний вид вертикального магнитного барабана.

Так как магнитный барабан представляет собой циклическое ЗУ, в котором любая ячейка становится доступной один раз за цикл, т. е. за один оборот барабана, то для ускорения записи или считывания информации желательно повышать скорость их вращения, которая составляет в среднем 2 000—3 000 *об/мин*, достигая в некоторых устройствах десятков тысяч оборотов в минуту.

При высоких скоростях вращения барабана и малых зазорах между головками и барабаном требуется весьма высокая точность его изготовления. Подшипники следует применять высокого класса точности, с тем чтобы свести к минимуму биение цилиндра.

Барабаны изготовляются с вертикальной или горизонтальной осью вращения. На рис. 26, например, показан вертикальный барабан одной из американских фирм. Данные изображенного барабана: диаметр 125, длина 300 *мм*, емкость 625 000 *дв ед.*, скорость вращения 12 000 *об/мин*. Общее количество головок — 240.

Значительного увеличения емкости ЗУ путем увеличения размеров магнитного барабана можно добиться, применяя специальную конструкцию так называемых «плавающих в воздухе» магнитных головок. Эти головки удерживаются в процессе вращения барабана на определенном, очень незначительном расстоянии от него (порядка 10 *мк*) при помощи воздушной подушки, которая образуется между поверхностями барабана и головки вследствие быстрого вращения барабана и подачи воздуха в головку под вы-

соким давлением (эффект Бернулли). В результате происходит как бы слежение головки за поверхностью барабана, что позволяет допускать небольшие отклонения формы последнего от идеально круглого цилиндра. Благодаря этому, естественно, облегчается конструирование цилиндрических барабанов большого диаметра.

Так как мельчайшие пылинки, попадая на головки, могут привести к появлению царапин на магнитном покрытии барабана, то все устройство помещают в герметические кожухи. При этом хорошо сконструированный барабан может подолгу работать без ремонта. Известен, например, случай трехлетней бесперебойной работы герметизированного барабана.

Адресация ячеек памяти на барабане относительно проста, так как барабан сам служит источником синхронизирующих импульсов, записанных на специальной дорожке барабана. Подобно ЗУ на магнитных лентах, в ЗУ на барабанах существуют два способа адресации. Чаще всего применяется такой способ, когда адрес определяется отсчетом позиций по окружности выбранной дорожки путем отсчета импульсов от определенной фиксированной точки, дающей маркерный импульс. При втором методе нужная ячейка находится путем считывания контрольных номеров, записанных на образующих барабана, и сличения считанного и заданного адресов. При совпадении их происходит включение соответствующих головок для записи или считывания.

Преимущества ЗУ на магнитных барабанах состоят в их высокой экономичности (наряду с магнитной лентой это самые дешевые ЗУ); надежности и простоте в эксплуатации; относительной компактности, впрочем, значительно меньшей, чем у ЗУ на ленте, так как внутренняя полость барабана не используется для хранения информации; постоянстве и надежности хранения информации.

Недостатки ЗУ на магнитном барабане заключаются в ограниченной по сравнению с магнитными лентами емкости; наличии механического вращательного движения; относительно большом среднем времени обращения (порядка миллисекунд), определяемом временем одного оборота (хотя это время значительно меньше среднего времени обращения к ЗУ на магнитной ленте).

ЗУ на лентобарабане. Компромиссным решением создания магнитного ЗУ с емкостью, в десятки раз превышающей максимальную емкость магнитного барабана, и при этом характеризующегося значительно меньшим по сравнению с ЗУ на магнитной ленте временем обращения, представляет собой комбинированное ЗУ на лентобарабане.

В этом ЗУ носителем информации служит широкая многодорожечная магнитная лента, запись и считывание с которой происходят магнитными головками, расположенными на быстро вращающемся барабане. Значительное повышение скорости считывания здесь достигается, во-первых, путем одновременного считывания с большого количества параллельных дорожек и, во-вторых, благодаря значительно большей линейной скорости головок на окружности барабана по отношению к ленте (порядка 20—30 *м/сек*), чем при протягивании ленты относительно неподвижных головок.

Разработанное в одной из лабораторий США ЗУ на лентобарабане представляет собой магнитную ленту шириной до 300 *мм* и длиной от 3 до 200 *м*, которая огибает барабан диаметром 300 *мм*,

вращающийся со скоростью 1 200 *об/мин*. На барабане вдоль его образующей размещено 128 магнитных головок, что позволяет вести запись и считывание на 128 параллельных дорожках. Магнитная лента разделена на зоны, длина которых несколько меньше длины полуокружности барабана. В каждой зоне может быть записано до 200 000 *дв. ед.* Между зонами оставлены пробелы длиной около 25 *мм*, на которых в виде прозрачных и непрозрачных участков записываются коды адресов зон.

Адреса считываются фотоэлектрической системой, управляющей движением лентопротяжного механизма, подающего нужную зону к барабану.

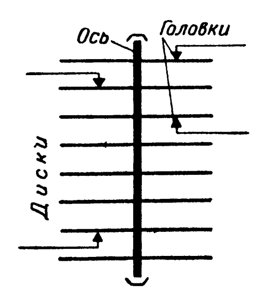


Рис. 27. Схематическая конструкция запоминающего устройства на магнитных дисках.

В пределах одной зоны время обращения к нужной ячейке не превышает времени одного оборота барабана, т. е. около 50 *мсек*. Лента перемещается со скоростью около пяти зон в секунду. Для того чтобы время ожидания подачи нужной зоны к барабану не лимитировало скорости работы устройств, связанных с лентобарабаном, между ними помещается обычный магнитный барабан, служащий буферным или промежуточным ЗУ.

Общая емкость описанного ЗУ достигает 100 млн. *дв. ед.*

ЗУ на магнитных дисках. Для магнитной записи информации можно придать магнитному носителю форму диска, подобную грампластинкам. Для одной из моделей машин (США) разработано ЗУ на 50 магнитных дисках, насаженных на непрерывно вращающуюся со скоростью 1 200 *об/мин* вертикальную ось (рис. 27). Расстояние между дисками равно 8 *мм*. Это позволяет подводить магнитные головки к любой из дорожек, расположенных по обеим сторонам дисков. На каждой стороне диска размещается по 100 концентрических дорожек. Запись и считывание информации в описываемом дисковом ЗУ, емкость которого достигает 80 млн. *дв. ед.*, могут производиться в любой последовательности, со скоростью, определяемой временем, необходимым для того, чтобы подвести головку к нужной дорожке, т. е. порядка долей секунды.

Для малых электронных вычислительных машин разработано такое дисковое ЗУ, у которого ферромагнитный слой не покрывает всю поверхность диска, а сосредоточен в виде радиальных спиц из сплава никеля и кобальта. Каждый участок спицы, соответствующий месту пересечения концентрической окружности под головкой со спицей, предназначается для хранения 1 *дв. ед.* информации. Таким образом, емкость всего двустороннего диска равна удвоенному произведению числа магнитных головок (числа концентрических дорожек) на число спиц.

Благодаря отсутствию между спицами магнитного материала при прохождении под головками даже и ненамагниченного участка спицы в обмотке головки индуктируется слабый сигнал. Это дает возможность получать синхронизирующие импульсы с любой дорожки независимо от записанной на ней информации.

Хотя плотность записи, а следовательно, и емкость такого диска меньше, чем у дисков со сплошным ферромагнитным слоем, большое достоинство описанного ЗУ состоит в возможности получения сигналов считывания в виде импульсов напряжением до 12 *в*. Такая значительная величина сигналов обусловлена большим остаточным магнитным потоком сплава, широкой дорожкой, значительной толщиной магнитных спиц и четкими их границами.

16. СХЕМЫ ЗАПИСИ И СЧИТЫВАНИЯ

Схемы записи и считывания информации в магнитных ЗУ должны давать возможность определять в каждый данный момент времени положение магнитного носителя относительно головок (номер ячейки ЗУ, находящейся против магнитных головок), усиление и формирование импульсов записи и считывание и управление передачей в нужные моменты импульсов записи из регистра в обмотки головок и импульсов считывания из обмоток головок в регистр.

Рассмотрим, как осуществляются эти функции, на примере блок-схемы ЗУ на магнитном барабане электронной вычислительной машины М-2 (рис. 28). Емкость этого ЗУ составляет 512 34-разрядных двоичных чисел. Запись или чтение всех 34 разрядов каждого числа происходят одновременно.

Записанные на барабане числа при считывании не стираются, а при записи в данной ячейке нового числа оно просто заменяет уже ставшее ненужным хранившееся прежде число. Система записи применяется здесь по трем уровням с промежутками между цифрами.

Предназначенные как для записи, так и для считывания 34 магнитные головки установлены в ряд вдоль образующей барабана. Таким образом, все 34-разрядное число записывается на одной образующей и каждому из 512 адресов ЗУ соответствует своя образующая на барабане.

На специальной маркерной дорожке барабана записаны маркерные отметки — по одной против каждой ячейки ЗУ. При вращении барабана специальная магнитная головка, расположенная против маркерной дорожки, считывает маркеры, которые поступают в схему формирования маркерных импульсов, выдающую импульсы на счетчик маркеров. Этот счетчик указывает, следовательно, номер образующей, т. е. адрес ячейки ЗУ, находящейся в данный момент под магнитными головками. Один раз за каждый оборот барабана, в промежутке между 512-м и 1-м маркерными импульсами, с другой специальной головки через соответствующую схему формирования выдается импульс гашения счетчика маркеров.

Рассмотрим теперь процесс записи или считывания числа по определенному адресу ЗУ. Подлежащее записи число фиксируется в регистре чисел, а адрес, по которому оно должно быть записано, — в регистре адреса. Триггер каждого разряда регистра чисел соединен с соответствующими схемами записи и считывания, которые в свою очередь соединены с магнитными головками соответствующих разрядов.

Команда «запись» подготавливает к выдаче импульса схему формирования импульсов записи. При совпадении показаний счетчика маркеров и регистра адреса, т. е. в момент, когда нужная ячейка находится под магнитными головками, схема совпадений выдает

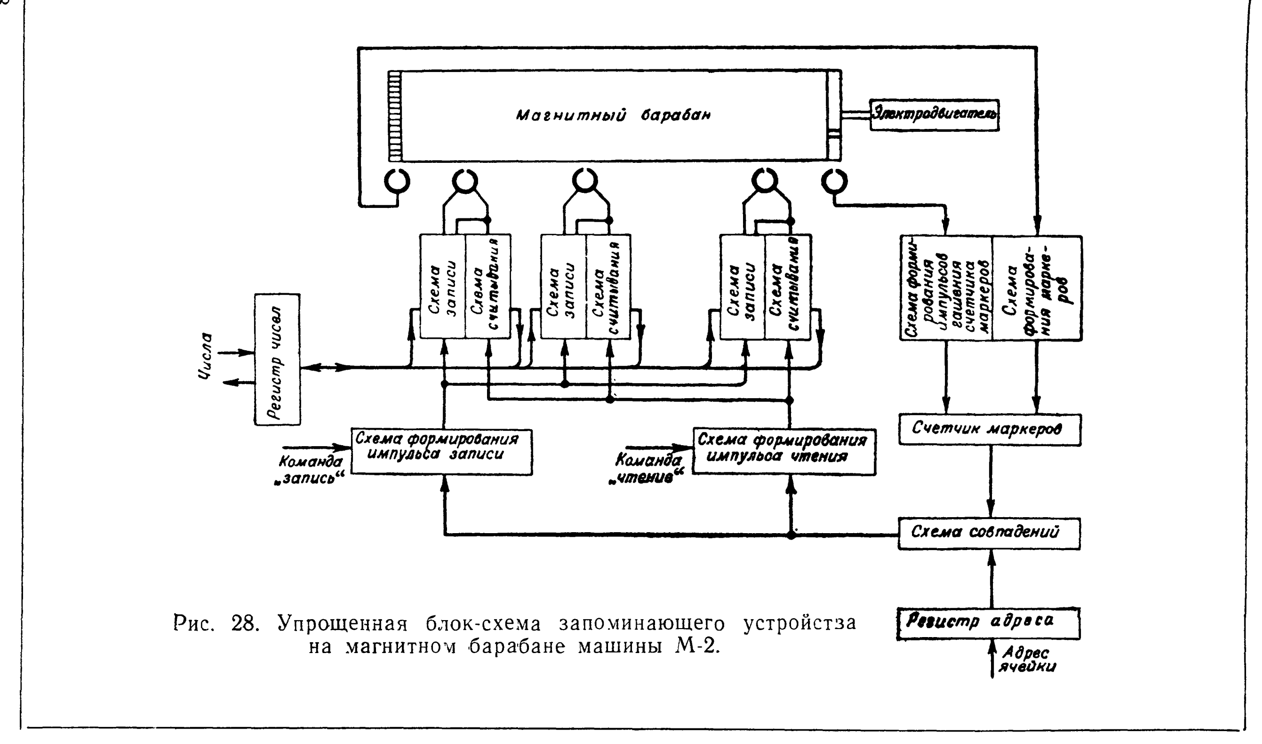


Рис. 28. Упрощенная блок-схема запоминающего устройства на магнитном барабане машины М-2.

из схемы формирования импульсы одновременно во все 34 схемы записи. Эти схемы в свою очередь создают тракты для записи соответствующими магнитными головками всех разрядов числа, зафиксированного в регистре чисел. При этом в зависимости от состояния («0» или «1») каждого из триггеров регистра чисел соответствующая схема записи направляет импульс записи в ту или иную обмотку магнитной головки, обеспечивая нужное направление намагничивания находящегося под головкой элемента поверхности барабана.

Для считывания числа с магнитного барабана в регистр адреса помещается адрес требуемой ячейки ЗУ, а командой «чтение» подготавливается к выдаче импульса схема формирования импульсов чтения. При совпадении показаний счетчика маркеров и регистра адреса схема совпадения выдает из схемы формирования импульсы одновременно во все 34 схемы чтения. Эти схемы в свою очередь выдают импульсы, управляющие триггерами регистра чисел соответственно сигналам, считываемым магнитными головками. Таким образом, записанное в избранной ячейке магнитного барабана число фиксируется в регистре чисел.

Описанные принципы построения схемы записи-чтения с некоторыми видоизменениями применяются как в других ЗУ на магнитных барабанах, так и в ЗУ с магнитной записью на магнитных лентах и дисках. Специфические особенности двух последних ЗУ заключаются только в том, что в соответствии с адресом требуемой ячейки ЗУ в них нужно управлять еще и механическими перемещениями: в ЗУ на магнитной ленте — перемоткой самой ленты до нахождения нужной зоны, а в дисковых ЗУ—перемещением головок к требуемой концентрической дорожке записи. Во избежание задержки работы ЗУ эти механические перемещения должны осуществляться достаточно быстро.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА ТОРОИДАЛЬНЫХ ФЕРРИТОВЫХ СЕРДЕЧНИКАХ

17. РАБОТА ФЕРРИТОВЫХ СЕРДЕЧНИКОВ В ОПЕРАТИВНЫХ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ

Применение в качестве материала для изготовления элементов ЗУ ферритов с прямоугольной петлей гистерезиса позволило создать весьма надежные, емкие и быстродействующие блоки оперативной памяти, получившие в настоящее время широкое распространение и имеющие большие перспективы использования в дальнейшем.

Общие сведения о ферритовых сердечниках и их свойствах были приведены в § 13. Рассмотрим теперь некоторые особенности работы ферритовых сердечников в качестве запоминающих элементов оперативных ЗУ.

Фиксация информации в сердечнике сводится к намагничиванию его в одном направлении при записи «1» и в другом направлении при записи «0». Для этого по обмотке записи необходимо пропускать импульс тока того или иного направления с амплитудой, достаточной для создания напряженности H_m (рис. 19). Для считывания информации по обмотке записи нужно пропустить импульс тока записи нуля. Если в сердечнике была записана 1, то магнитная индукция в нем изменится от значения $+B_r$ до $-B_r$ и в выходной обмотке индуктируется э. д. с. считывания единицы. Если же в сердечнике был записан 0, то его состояние практически не изменится и в выходной обмотке при условии хорошей прямоугольности петли гистерезиса будет индуктироваться лишь незначительная помеха.

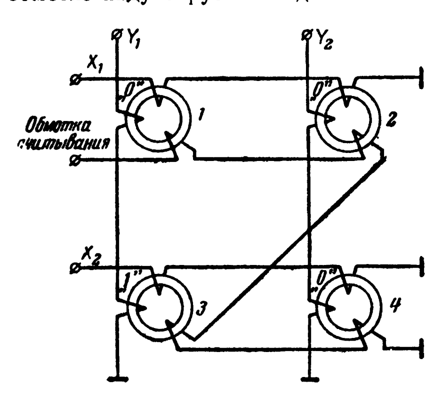


Рис. 29. Матричная схема с выбором запоминающего элемента по принципу совпадения двух токов.

После считывания информации сердечник всегда оказывается в состоянии «0», т. е. ранее записанная в нем информация стирается. Если она в дальнейшем должна быть сохранена, то необходимо принимать специальные меры для ее восстановления (регенерации).

Однако условия записи и считывания информации значительно усложняются в ЗУ большой емкости. В частности, серьезное значение в них приобретают проблемы быстрого выбора определенного запоминающего элемента из большого их количества и выделение полезного сигнала из помех. Важная задача заключается в максимальном уменьшении количества так называемых селектирующих проводов или шин, по которым к ЗУ подводятся импульсы токов или напряжений, осуществляющие выбор нужного запоминающего элемента или ячейки.

В качестве варианта решения этой проблемы широкое распространение получил принцип совпадения токов. Для пояснения этого принципа рассмотрим матричную схему (рис. 29), в которой для простоты показаны лишь четыре запоминающих элемента.

На каждом сердечнике расположены три обмотки. Две из них предназначены для выбора нужных запоминающих элементов при записи и считывании информации, а третья служит специальной обмоткой чтения. Все обмотки каждого из рядов соединены между собой последовательно, образуя шины X_1, $X_2, \ldots, X_n$ и Y_1, $Y_2, \ldots, Y_m$. Одни концы этих шин образуют соответствующие входы, а другие концы заземлены. Все обмотки считывания также соединены между собой последовательно, причем один конец образуемой таким образом цепи заземлен, а другой служит общим выходом считывания матрицы.

На входы X_1, $X_2, \ldots, X_n$ и Y_1, $Y_2, \ldots, Y_m$ в процессе записи или считывания информации подаются импульсы тока амплитудой $I_m/2$, где I_m — ток, необходимый для создания напряженности H_m, требуемой для полного перемагничивания сердечника (рис. 19).

Следовательно, прохождение тока только по одной из обмоток сердечника не может изменить его магнитного состояния. При прохождении же токов одинакового направления по обеим обмоткам создаваемые ими поля складываются, в результате чего напряжен-

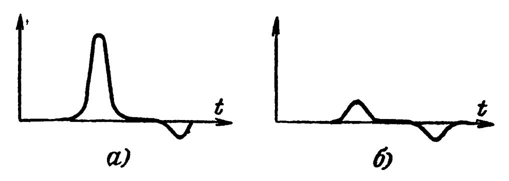


Рис. 30. Э. д. с. считывания информации с избранного сердечника.
а — считывание «1»; *б* — считывание «0».

ность поля достигает величины H_m, достаточной для перемагничивания сердечника в соответствующее устойчивое состояние.

Условимся считать начальным состоянием сердечников состояние отрицательной намагниченности. Для приведения всех сердечников в начальное состояние, т. е. для стирания всей хранившейся в них информации, нужно на входы всех горизонтальных и вертикальных шин подать одновременно отрицательные импульсы тока.

Рассмотрим теперь процесс записи информации. Пусть мы хотим записать «1» в сердечнике 3. Для этого подадим на входы X_2 и Y_1 положительные импульсы. Тогда в сердечнике *3* будет создана напряженность $+H_m$, достаточная для его перемагничивания в состояние положительной намагниченности, а остальные сердечники останутся в состоянии отрицательной намагниченности.

В таком виде записанную информацию можно без всякой затраты энергии хранить неограниченно долгое время. Если мы теперь хотим прочитать код, хранящийся в каком-нибудь из сердечников матрицы, то нужно подать отрицательные импульсы в соответствующие горизонтальную и вертикальную шины, на пересечении которых находится нужный сердечник.

Из рассмотренного видно, что в процессе записи и считывания информации один из сердечников матрицы, который находится на пересечении возбужденных шин (в данном случае сердечник *3*), испытывает воздействие полной напряженности H_m. Этот сердечник называют избранным сердечником. Сердечники *1* и *4*, которые испытывают воздействие полей с напряженностью $H_m/2$, называют полувозбужденными или полуизбранными. Наконец, те сердечники, которые находятся на пересечении невозбужденных шин (в данном случае сердечник *2*), называют невозбужденными или неизбранными.

Так как в рассматриваемой схеме обмотка считывания охватывает все сердечники матрицы, то в ней, очевидно, суммируются все э. д. с., индуктируемые в избранном и во всех полуизбранных

сердечниках. Форма э. д. с. считывания информации с избранного запоминающего сердечника показана на рис. 30. При считывании «1» первый (условно положительный) импульс э. д. с. получается в результате перемагничивания сердечника из состояния $+B_r$ в $-B_m$ (рис. 19). Второй — отрицательный импульс возникает после окончания импульсов возбуждения в селектирующих шинах как результат перехода сердечника из состояния $-B_m$ в $-B_r$. При считывании «0» первый импульс обусловлен переходом сердечника из состояния $-B_r$ в $-B_m$, а второй — возвратом его из состояния $-B_m$ в $-B_r$.

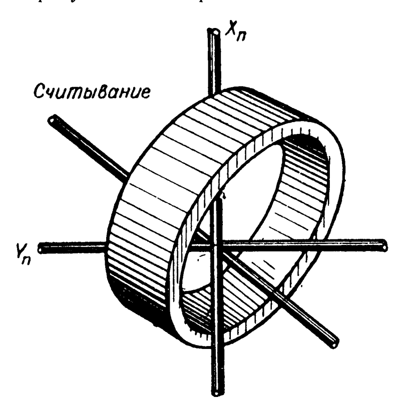


Рис. 31. Запоминающий элемент на кольцевом сердечнике с пронизывающими проводниками, выполняющими функцию одновитковых обмоток.

Все импульсы э. д. с. считывания, кроме первого, представляют собой помехи. Аналогичные помехи возникают и во всех полуизбранных сердечниках, только амплитуда их меньше, так как они возникают под влиянием поля с напряженностью не H_m, а лишь $H_m/2$.

Для удешевления ЗУ и упрощения монтажа запоминающих матриц обмотки на сердечниках в современных конструкциях заменяются просто проводниками шин, продетыми сквозь кольцевые сердечники. При этом запоминающий элемент имеет вид, показанный на рис. 31.

18. ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА С СОВПАДЕНИЕМ ТОКОВ

Описанный принцип выбора запоминающего элемента путем совпадения токов в двух селектирующих шинах применяется при построении оперативных ЗУ большой емкости. При этом для хранения каждого разряда всех чисел используется отдельная матрица, подобная изображенной на рис. 29, которую называют разрядной матрицей или платой. Плата содержит столько сердечников, сколько чисел должно фиксироваться в ЗУ, и имеет чаще всего квадратную форму. На рис. 32 приведена увеличенная фотография угла платы (матрицы) ЗУ на ферритовых сердечниках.

Разрядные платы собирают в блок, часто называемый кубом памяти. Куб памяти емкостью m n-разрядных чисел показан схематически на рис. 33. Общее количество селектирующих шин куба равно, очевидно, $2\sqrt{m}$ ($\sqrt{m}$ шин возбуждения строк и $\sqrt{m}$ шин возбуждения столбцов матриц).

Горизонтальная шина X_1, пронизывающая все сердечники первой строки первой разрядной платы, соединяется последовательно с шиной X_1 второй разрядной платы, пронизывающей все сердеч-

ники ее первой строки, затем пронизывает все сердечники первой строки третьей разрядной платы и т. д., и, пройдя сквозь сердечники первой строки n-й платы, соединяется с корпусом. Так же монтируются и все остальные горизонтальные и вертикальные селектирующие шины.

Следовательно, возбуждая токами $I_m/2$ некоторые горизонтальную и вертикальную селектирующие шины, можно одновременно

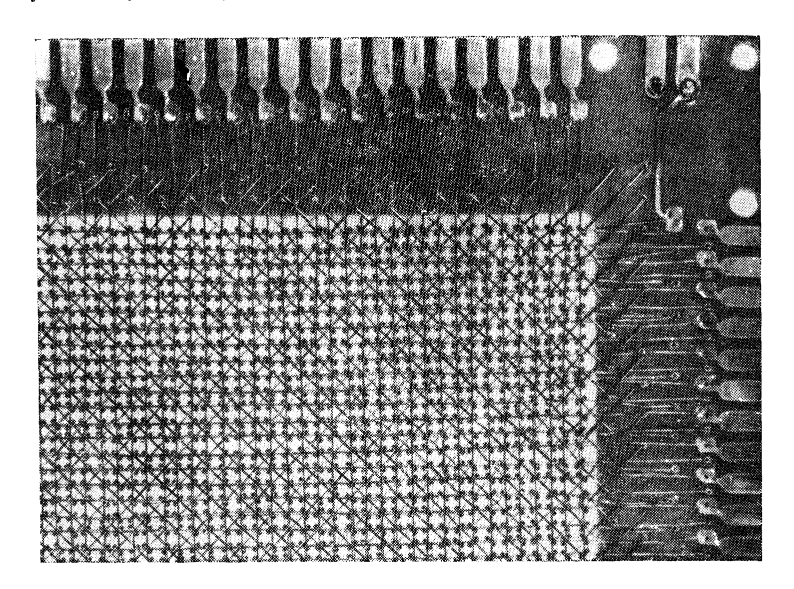


Рис. 32. Увеличенный вид угла платы запоминающего устройства на ферритовых сердечниках.

перемагничивать в то или иное состояние n запоминающих сердечников, находящихся в одном и том же месте всех n разрядных плат на пересечении возбужденной пары шин. Эти сердечники, расположенные в ряд вдоль оси Z куба памяти, образуют ячейку (регистр) ЗУ, предназначенную для хранения одного n-разрядного числа.

Кроме селектирующих шин, общих для всех разрядных плат, каждая разрядная плата имеет отдельные обмотки записи и считывания или одну общую обмотку записи-считывания. Эти обмотки прошивают все сердечники только одной разрядной платы.

Если в некотором разряде записываемого числа содержится код «1», то соответствующая обмотка записи не возбуждается и под влиянием положительных импульсов в селектирующих шинах избранный сердечник в соответствующей плате перемагничивается в положительное состояние.

Если же код в данном разряде «0», то обмотка записи соответствующей платы возбуждается импульсом тока $-I_m/2$, компен-

сирующим половину напряженности поля, создаваемого в избранном сердечнике положительными импульсами селектирующих шин. Поэтому обмотку записи в такой схеме часто называют обмоткой запрета записи или просто обмоткой запрета.

Важная проблема работы ЗУ с совпадением токов заключается в выделении полезного сигнала из помех при считывании. Дело в том, что в процессе считывания в каждой разрядной матрице, кроме избранного сердечника, всегда возбуждаются токами $I_m/2$ еще $2(\sqrt{m}-1)$ сердечников (рис. 33), при этом э. д. с. помех всех этих сердечников алгебраически складываются в обмотке считывания. Если бы все сердечники были прошиты обмоткой считывания в одном направлении, то суммарная э. д. с. помех могла бы значительно превысить амплитуду полезного сигнала.

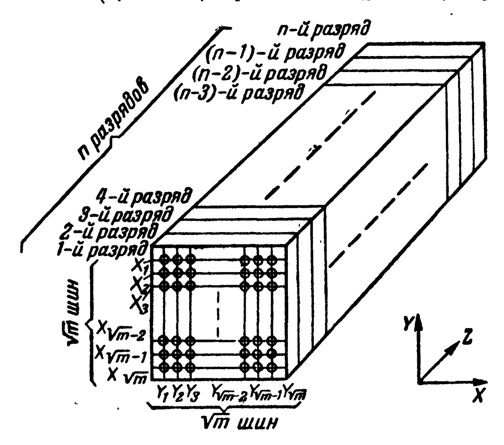


Рис. 33. Схематический вид куба памяти запоминающего устройства с совпадением токов.

Один из радикальных методов борьбы с помехами заключается в диагональной прошивке сердечников платы обмоткой считывания, как показано на рис. 29. При этом половина всех сердечников оказывается прошитой обмоткой считывания в одном направлении, а половина — в другом. В идеальном случае таким путем может быть достигнута полная взаимная компенсация помех, наведенных в обмотке считывания полуизбранными сердечниками.

Однако эта компенсация оказывается практически неполной вследствие неодинаковости э. д. с. помех, индуктированных разными сердечниками, что в свою очередь обусловлено разбросом параметров сердечников и неодинаковостью условий их работы в матрице. Поэтому для борьбы с помехами принимают ряд других мер, из которых наиболее эффективно стробирование считываемого сигнала, т. е. кратковременное отпирание усилителя считывания в момент максимального значения отношения полезного сигнала к помехе.

Для того чтобы величина помех с совпадением токов оставалась в заданных пределах, допустимый разброс характеристик запоминающих сердечников не должен превышать нескольких процентов, что требует отбраковки значительного числа сердечников и, естественно, удорожает стоимость всего устройства. Наконец, в матричных ЗУ с совпадением токов недопустим форсированный режим работы, т. е. применение для считывания импульсов тока, значительно превышающих ток, соответствующий коэрцитивной силе

сердечника, так как это привело бы к изменению магнитного состояния и неизбранных сердечников. А ограничение амплитуды импульсов, управляющих считыванием, в свою очередь ограничивает и амплитуду импульсов, получаемых на выходе цепи считывания.

Эти недостатки матричных ЗУ совпадением токов обусловили разработку и широкое применение устройств памяти на ферритовых сердечниках с прямоугольной петлей гистерезиса другого типа — ЗУ с непосредственной выборкой.

19. ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА С НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ ВЫБОРКОЙ

Основное отличие ЗУ с непосредственной выборкой или, как их часто называют, ЗУ типа *Z*, заключается в том, что импульс тока считывания подается сразу во все разряды только одного выбранного в данный момент регистра, хранящего нужное число. Это позволяет производить при считывании форсированное перемагничивание сердечников регистра импульсом тока считывания большой амплитуды, так как этот ток не попадает в обмотки сердечников других регистров и, следовательно, не может нарушить хранящейся в них информации. Благодаря применению форсированного режима достигается сокращение времени считывания и повышение амплитуды выходного сигнала в несколько раз по сравнению с обычными ЗУ на ферритовых сердечниках.

Так как при считывании импульс тока поступает только в один регистр и, следовательно, в каждом разряде возбуждается только один сердечник, то и в проводе считывания, который проходит через сердечники данного разряда всех регистров, сигнал появится только от одного выбранного сердечника. Обусловленное этим обстоятельством отсутствие помех при чтении позволяет значительно упростить цепи считывания и повысить надежность работы ЗУ.

Недостаток ЗУ с непосредственной выборкой заключается в необходимости иметь в схеме для каждого числового регистра индивидуальный вентиль. В качестве таких вентилей в ЗУ большой емкости удобно использовать магнитные ключи.

Магнитный ключ (рис. 34,*а*) представляет собой трансформатор с четырьмя обмотками на тороидальном ферритовом сердечнике с прямоугольной петлей гистерезиса (рис. 34,*б*). Обмотки w_x и w_y служат для возбуждения трансформатора, работающего по принципу совпадения токов; обмотка w_z — выходная обмотка трансформатора, нагруженная *n* запоминающими сердечниками, образующими *n*-разрядный регистр на одно число; в обмотку $w_{см}$ подается некоторый постоянный ток смещения. Этот ток создает напряженность смещения $H_{см}$, определяющую положение на петле гистерезиса рабочей точки *А*, соответствующей состоянию отрицательной намагниченности сердечника.

Так как напряженности поля $H_x = H_y = H_{см}$, то при пропускании тока только по одной из обмоток возбуждения магнитное состояние сердечника не изменится. При одновременном пропускании токов по обеим обмоткам возбуждения создается напряженность поля $H_x + H_y$, обеспечивающая переход сердечника в состояние положительной намагниченности. При этом в обмотке w_z индуктируется импульс чтения, поступающий в запоминающие сердечники избран-

ного регистра. После прекращения токов в обмотках w_x и w_y сердечник снова возвращается под действием напряженности поля, создаваемой обмоткой смещения, в состояние отрицательной намагниченности.

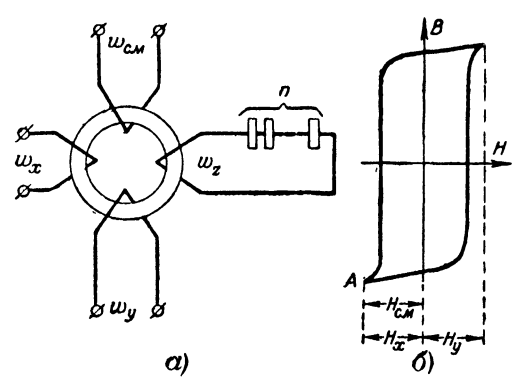


Рис. 34. Магнитный ключ запоминающего устройства с непосредственной выборкой.
а — схема ключа; *б* — петля гистерезиса сердечника ключа.

Магнитные ключи размещаются в узлах матрицы, предназначенной для выбора нужных числовых регистров, которая называется координатной сеткой (рис. 35).

Числовые регистры или линейки с запоминающими сердечниками располагаются параллельными рядами, которые в свою очередь прошиваются проводами считывания и записи. На рис. 36 изображено ЗУ с непосредственной выборкой емкостью в четыре шестиразрядных числа. Каждая вертикальная линейка (шина *Z*) возбуждается обмоткой своего трансформатора (магнитного ключа) w_z. Через сердечники всех одноименных разрядов всех числовых линеек проходят провода считывания *Сч* и записи *З*. Выбор нужного регистра происходит благодаря посылке импульса по его шине *Z* от обмотки w_z соответствующего трансформатора, при этом запись «0» или «1» сопровождается посылкой импульсов той или иной полярности по проводам записи *З* соответствующих разрядов При считывании импульс, проходящий по шине *Z* избранного регистра, вызывает перемагничивание сердечников,

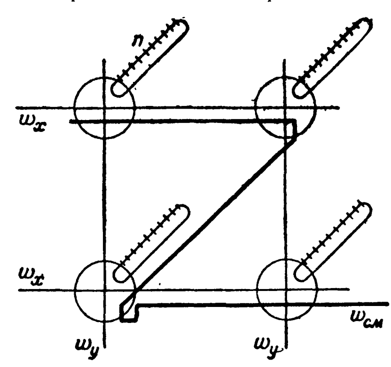


Рис. 35. Координатная схема магнитных ключей.

находящихся в состоянии положительной намагниченности, отчего в их обмотках индуктируется э. д. с., создающая импульсы считывания на выходах *Сч* соответствующих разрядов.

Сопротивление цепи *Z*, служащее нагрузкой обмотки магнитного ключа, меняется в зависимости от кода, записанного в сердечниках данной числовой линейки, так как сопротивление обмотки

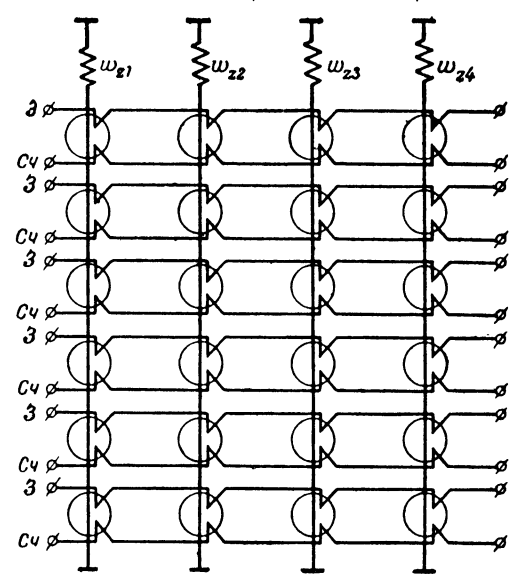


Рис. 36. Схема платы запоминающего устройства с непосредственной выборкой.

каждого сердечника изменяется в зависимости от того, перемагничивается он или нет. В качестве одного из способов стабилизации нагрузки рекомендуется включение в числовую линейку последовательно с запоминающими специальных компенсационных сердечников, в которых всегда записывается код, обратный коду запоминаемого числа.

Первое магнитное оперативное ЗУ (МОЗУ), созданное на основе описанных принципов, работает в электронной машине БЭСМ-1 с 1956 г., когда им было заменено оперативное ЗУ на электронно-лучевых трубках. В дальнейшем МОЗУ подобного типа получили широкое распространение и используются в ряде советских машин (БЭСМ-2, Минск, Раздан, Урал-2 и др.).

Приведем некоторые сведения о МОЗУ машины БЭСМ-2. Конструктивно оно оформлено в виде кассет, каждая из которых представляет собой законченное ЗУ емкостью 128 48-разрядных двоичных чисел.

Кассета представляет собой рамку, разделенную на две неравные части. Бо́льшая часть отводится для собственно ЗУ с числовыми регистрами (линейками) на ферритовых сердечниках (марки

ВТ-1) размерами: внешний диаметр — 2,03 *мм*; внутренний диаметр — 1,31 *мм*, высота — 0,9 *мм*. Статический коэффициент прямоугольности этих сердечников $K = 0{,}92$. Меньшая часть кассеты используется для размещения сетки координатных трансформаторов (магнитных ключей) на ферритовых сердечниках марки К-28 размерами: внешний диаметр — 3,1 *мм*; внутренний диаметр — 2,0 *мм* и высота — 1,2 *мм*. Для этих сердечников $K = 0{,}93$.

Магнитные кассеты объединены в блоки по восемь кассет. Таким образом, каждый блок представляет собой ЗУ емкостью 1 024 48-разрядных чисел. Полная емкость ЗУ БЭСМ-2 равна 2 048 (два блока) или 4 096 (четыре блока) чисел. Время полного цикла обращения к ЗУ составляет около 10 *мксек*.

Опыт эксплуатации МОЗУ с непосредственной выборкой в отечественных вычислительных машинах показал их высокую надежность, относительную простоту и безотказность в эксплуатации. Однако ЗУ большой емкости с непосредственной выборкой требует значительно большего количества импульсных источников питания в схемах управления, чем ЗУ с совпадением токов. Поэтому при конструировании ЗУ емкостью порядка четырех тысяч чисел и более все чаще отдается предпочтение ЗУ с совпадением токов.

20. БЛОК-СХЕМА И УПРАВЛЕНИЕ ЗАПОМИНАЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ

Наряду с блоком, в котором осуществляется собственно хранение информации (блоком или кубом памяти, накопителем), важными частями ЗУ являются и другие блоки, обслуживающие запоминающую часть.

Упрощенная блок-схема ЗУ изображена на рис. 37. В блоке памяти или накопителе *1* сосредоточены запоминающие элементы.

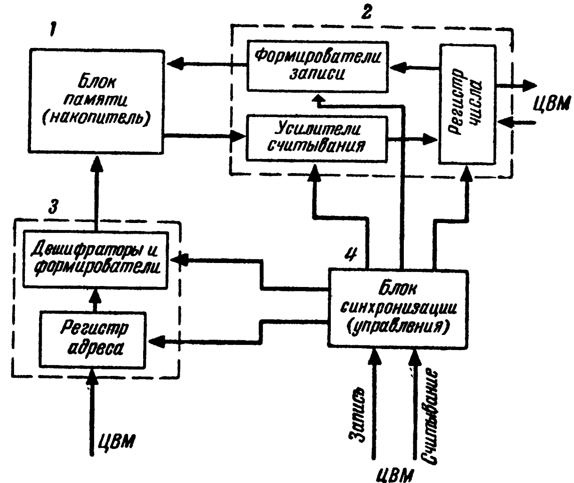


Рис. 37. Упрощенная блок-схема запоминающего устройства.

Кроме того, к ЗУ относятся схема ввода и вывода чисел *2*, адресная схема *3* и блок синхронизации или управления *4*.

Схема ввода и вывода чисел выполняет функцию промежуточного звена, в котором происходит обмен информацией между бло-

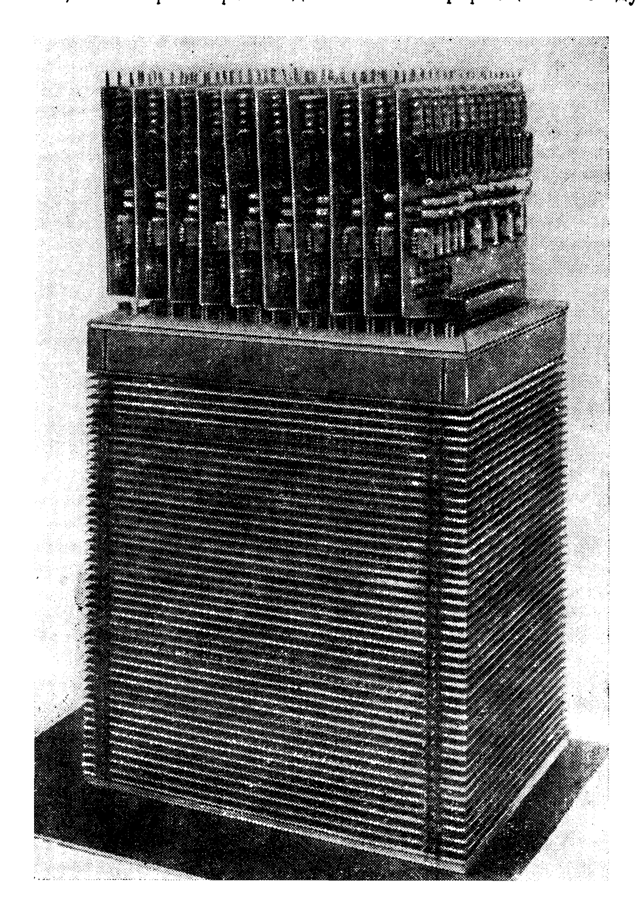


Рис. 38. Внешний вид блока памяти ферритового запоминающего устройства.

ком памяти и остальными блоками кибернетического устройства (в частном случае — цифровой вычислительной машины ЦВМ). Число, которое вводится в ЗУ, поступает в числовой регистр, где находится на кратковременном хранении до фактической записи его в память. Кодовые импульсы числа, подлежащего записи, усиливаются и формируются специальными схемами и в нужные моменты времени подаются в обмотки записи накопителя. Кодовые им-

пульсы считываемых чисел должны быть усилены, стробированы и после дискриминации (различения «0» и «1») поступают в числовой регистр на временное хранение до отсылки их в машину. Если только что считанные числа должны быть сохранены в памяти для использования при последующих операциях, то они должны храниться в числовом регистре до конца цикла регенерации, т. е. возобновления их записи в той числовой ячейке, откуда они были считаны. Весь этот комплекс схем усилителей, формирователей, ключей и регистр чисел можно отнести к схеме ввода и вывода чисел.

Одновременно с числами, подлежащими записи, при каждом обращении к ЗУ в него должна поступать информация о том, в какую ячейку памяти данное число должно быть записано или из какой ячейки число должно быть считано. Эта информация подается в ЗУ из машины в виде адреса, т. е. числового кода, соответствующего номеру ячейки, к которой происходит обращение.

Код адреса, записанный в адресном регистре, дешифрируется, и в соответствии с этим кодом происходят выбор и возбуждение селектирующих шин блока памяти. Эти функции выполняются дешифраторами адресов, формирователями и усилителями селектирующих импульсов и соответствующими ключевыми схемами.

Для управления всеми процессами при обращении к ЗУ и согласования во времени последовательности работы отдельных блоков служит блок синхронизации (управления) ЗУ. В него из машины поступают команды, указывающие характер предстоящей операции (запись или считывание), и в соответствии с этими командами блок синхронизации вырабатывает импульсы управления регистрами, ключами, дешифраторами и другими частями схемы ввода-вывода чисел и адресной схемы ЗУ.

На рис. 38 приведен для примера внешний вид блока памяти ферритового ЗУ одной из электронных вычислительных машин.

21. ПОСТОЯННЫЕ ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА ФЕРРИТОВЫХ СЕРДЕЧНИКАХ

В настоящее время получили распространение быстродействующие ЗУ на ферритовых сердечниках, допускающие лишь оперативное считывание однажды записанной и постоянно хранящейся в них информации. Такие устройства носят название постоянных, пассивных или односторонних ЗУ (см. гл. 2).

На рис. 39 изображена разрядная плата одного из вариантов постоянного ЗУ на ферритовых сердечниках, представляющего собой видоизмененный вариант матричного оперативного ЗУ с совпадением токов. Разрядные платы такого постоянного ЗУ отличаются тем, что из них удалены все сердечники из узлов матрицы, где должен храниться нуль. Для сохранения постоянства входного сопротивления всех селектирующих шин XY на каждую из них вне матрицы нанизано соответствующее количество сердечников взамен удаленных. Во всех оставшихся в матрице сердечниках записана 1.

Считывание информации из ЗУ осуществляется обычным методом совпадения токов, причем избранные сердечники перемагничиваются в нулевое состояние, т. е. записанная в них информация стирается. Однако процесс регенерации информации здесь весьма

прост вследствие того, что во всех сердечниках должна быть вновь записана единица. При считывании информации всегда можно посылать в соответствующие селектирующие шины два импульса разной полярности, так что первый импульс будет перемагничивать избранные запоминающие сердечничи из состояния «1» в «0», а вторым импульсом в них будет восстанавливаться состояние «1».

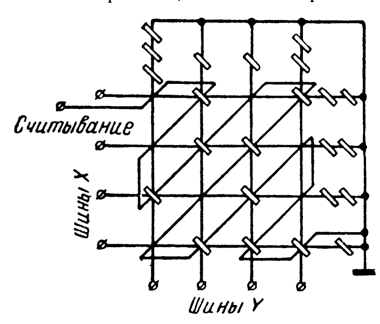


Рис. 39. Разрядная плата матричного постоянного запоминающего устройства с совпадением токов.

Другое решение вопроса состоит в применении постоянной смещающей (подмагничивающей) обмотки, пронизывающей все сердечники ЗУ и удерживающей их в состоянии «1».

При этом считывание может происходить однополярными импульсами, которые будут перемагничивать избранные сердечники в состояние «0», а после считывания подмагничивающая обмотка будет возвращать их в состояние «1».

Аналогичным путем может быть построено постоянное ЗУ и на основе оперативного ЗУ на ферритовых сердечниках с непосредственной выборкой путем удаления соответствующих сердечников из числовой линейки.

В обоих описанных случаях в постоянном ЗУ для хранения каждой «1» предусматривается отдельный ферритовый сердечник. Значительно более выгодным решением с точки зрения габаритов и количества оборудования представляют собой устройства, в которых один сердечник может предназначаться для хранения нескольких двоичных единиц информации.

В одном из вариантов такого ЗУ (рис. 40,*а*) каждый сердечник предназначается для хранения определенного разряда всех записанных чисел и имеет отдельную обмотку считывания. Считывание (выборка) числа происходит путем посылки опросного импульса тока в соответствующий заданному

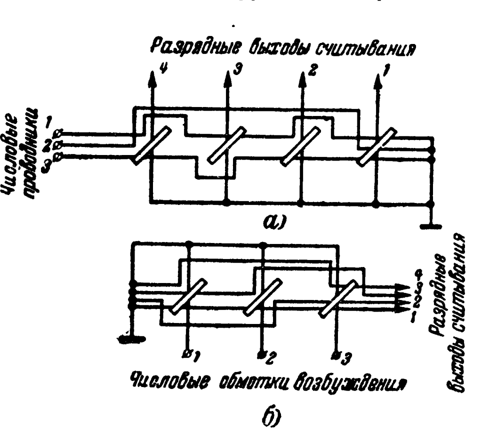


Рис. 40. Принципиальная схема постоянного запоминающего устройства емкостью три четырехразрядных числа.

а — сердечники используются для хранения одинаковых разрядов всех чисел; *б* — то же для хранения всех разрядов одного числа.

адресу числовой проводник, которым прошиты лишь те сердечники, в которых в данном числе и разряде записана «1».

В другом варианте подобного постоянного ЗУ (рис. 40,*б*) каждый сердечник предназначается для хранения полного кода одного многоразрядного двоичного числа. В этой схеме сердечники прошиваются соответственно записанному коду разрядными проводниками считывания. У каждого сердечника имеется отдельная числовая обмотка возбуждения, возбуждаемая импульсом тока опроса соответственно заданному адресу.

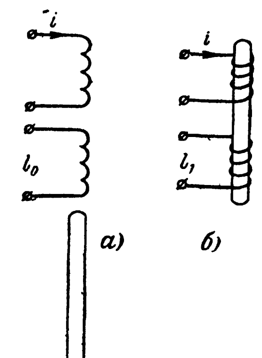


Рис. 41. Запись информации при помощи ферритовых стержней.

а — запись «0»; *б* — запись «1».

В обоих вариантах ЗУ, изображенных на рис. 40, записаны следующие числа: в ячейке № 1 0101, в ячейке № 2 0001 и в ячейке № 3 1011.

В ЗУ описанного типа, построенных по принципу «прошито — не прошито», могут применяться как сердечники с прямоугольной петлей гистерезиса, так и оксиферовые сердечники с непрямоугольной петлей гистерезиса. В первом случае для восстановления некоторого начального состояния намагниченности, нарушаемого опросными импульсами, необходимо либо производить опрос двумя импульсами различной полярности, либо применять специальную смещающую (подмагничивающую) обмотку. Во втором случае — в ЗУ трансформаторного типа на сердечниках из материала с непрямоугольной петлей гистерезиса опрос происходит обычными однополярными импульсами.

В случае необходимости изменения записанной информации во всех описанных постоянных ЗУ необходимо изменять прошивку сердечников. За последнее время разработан ряд вариантов постоянных ЗУ, в которых хотя в нормальном режиме работы и осуществляется только неразрушающее считывание информации, но в случае необходимости записанная информация может быть относительно просто заменена новой путем электрической перезаписи.

Кроме того, разработаны так называемые полупостоянные ЗУ, допускающие относительно быстрое ручное или полуавтоматическое изменение информации. Одним из простых и перспективных решений конструкции полупостоянного ЗУ являются устройства на ферритовых стержнях, различные варианты которых предложены в СССР, Англии и ФРГ.

В основу этих устройств положен принцип изменения коэффициента взаимоиндукции между обмотками запоминающего элемента при введении в них общего ферромагнитного сердечника. Запоминающий элемент такого типа изображен на рис. 41. В случае, когда ферритовый стержень находится вне обмоток (рис. 41,*а*), коэффициент взаимоиндукции между ними значительно меньше, чем в случае, когда стержень связывает обмотки общим магнитопроводом (рис. 41,*б*). Если возбуждать одну из обмоток (например, верхнюю) током i, то э. д. с. e_0, индуктирующаяся в нижней обмотке,

будет соответственно во втором случае значительно больше: $e_1 \gg e_0$.

Принимая условно e_1 за сигнал считывания «1», а e_0 — за помеху при считывании «0», можно построить полупостоянное ЗУ по схеме, приведенной на рис. 42. Эта матричная схема содержит m горизонтальных шин Z_1, Z_2, ..., Z_m (по количеству фиксируемых чисел) и n вертикальных шин — по количеству разрядов в фиксируемых числах. В шины Z последовательно включены первичные обмотки запоминающих элементов, а в вертикальные шины, также последовательно, — вторичные обмотки запоминающих элементов. При возбуждении некоторой числовой шины Z на разрядных выходах 1, 2, ..., n возникают сигналы считывания, амплитуда которых определяется положением ферритовых стержней.

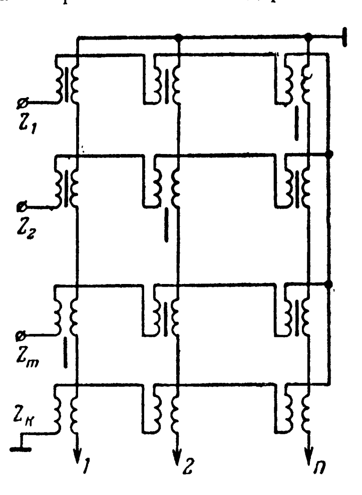


Рис. 42. Принципиальная схема матрицы полупостоянного запоминающего устройства с ферритовыми стержнями.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА ФЕРРИТОВЫХ ЭЛЕМЕНТАХ СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

22. НЕДОСТАТКИ ФЕРРИТОВЫХ СЕРДЕЧНИКОВ КАК ЗАПОМИНАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ И ПУТИ ИХ ПРЕОДОЛЕНИЯ

Ферромагнитные ЗУ на тороидальных сердечниках применяются в подавляющем большинстве как уже находящихся в эксплуатации, так и проектируемых электронных цифровых машин.

Однако наряду с достоинствами этих ЗУ необходимо отметить и ряд свойственных им значительных недостатков. К этим недостаткам прежде всего относятся трудности технологического характера и ограничения дальнейшего повышения быстродействия ЗУ.

Технологические трудности обусловлены применением для хранения каждого разряда по крайней мере одного ферритового сердечника, который должен быть индивидуально изготовлен, проверен и смонтирован в ЗУ. Количество сердечников даже в ЗУ средней емкости составляет десятки тысяч, а в ЗУ большой емкости достигает сотен тысяч и миллионов штук. Если учесть миниатюрные размеры сердечников и то обстоятельство, что их произ-

водство и отбраковка автоматизированы лишь частично, а монтаж ЗУ на ферритовых сердечниках почти не поддается автоматизации и производится в основном вручную, то становится ясным, какие большие затраты труда требуются для изготовления современного ЗУ большой емкости.

Один из путей преодоления этих технологических трудностей заключается в замене разрядных плат ЗУ, смонтированных из отдельных ферритовых сердечников, сплошными многоотверстными ферритовыми пластинами. Другой путь заключается в переходе к ЗУ на тонких магнитных пленках, изготавливать которые можно в автоматизированных установках (§ 27). Следует отметить, что наряду с преодолением технических трудностей применение ферритовых пластин с микроотверстиями и тонкопленочных запоминающих элементов открывает пути значительного повышения быстродействия ЗУ.

Повышение быстродействия ЗУ на ферритовых сердечниках может быть достигнуто применением форсированных режимов перемагничивания сердечников импульсами тока, которые создают напряженность поля, значительно превышающую коэрцитивную силу материала. Однако в схемах ЗУ с совпадением токов форсированное перемагничивание принципиально невозможно, так как при этом будет разрушаться информация в полуизбранных сердечниках. В ЗУ с непосредственной выборкой можно применять форсированный режим только при считывании, а запись, которая и здесь основана на совпадении токов, в этих ЗУ также производится ограниченными токами. Существуют схемы, допускающие считывание и запись неограниченными токами, но эти схемы более сложны, требуют значительного количества дополнительных элементов (дополнительный диод на каждый разряд) и поэтому не нашли широкого применения.

Один из резервов повышения быстродействия ЗУ состоит в применении различных способов неразрушающего считывания. При этом отпадает необходимость восстановления (регенерации) только что считанной информации, что дает значительное сокращение времени обращения к ЗУ и упрощение схемы. Существует несколько методов неразрушающего считывания. В частности, оно может основываться на применении для считывания токов высокой частоты (радиочастотное считывание) или очень коротких импульсов тока, которые за время их действия не успевают перемагнитить ферритовый материал вследствие его вязкости. Все более широкое применение получают специальные элементы, в которых считывание может происходить без разрушения записанной информации. К таким элементам относятся биаксы, трансфлюксоры и твисторы.

23. МНОГООТВЕРСТНЫЕ ФЕРРИТОВЫЕ ПЛАСТИНЫ

Для выяснения физических принципов работы ЗУ на многоотверстной ферритовой пластине рассмотрим разрез участка ферритовой пластины с отверстиями, показанный в увеличенном виде на рис. 43,*а*. Ток, протекающий по проводу, пропущенному сквозь отверстие, создает магнитное поле, напряженность которого убывает по мере удаления от провода, как показано на рис. 43,*б*. Так как пластина изготовлена из феррита с прямоугольной петлей гистерезиса, то под действием поля вокруг отверстия будет перемагничи-

ваться кольцевая зона с внутренним радиусом r_0 и внешним радиусом r_1. Величина r_1 определяется расстоянием от проводника, на котором напряженность поля снижается до значения коэрцитивной силы материала H_c.

Эта кольцевая зона представляет собой тороид, свойства которого в значительной степени подобны свойствам автономного тороидального сердечника. Однако в отличие от сердечника при возрастании амплитуды перемагничивающих импульсов в пластине увеличивается радиус перемагничиваемой зоны r_1. При этом, во-первых, повышается расход энергии на перемагничивание большей массы феррита, отчего нарушается почти линейная зависимость между амплитудой импульса и скоростью перемагничивания и, во-вторых, возникает опасность разрушения информации, записанной в соседних элементах, вследствие захвата их зон расширяющейся зоной рассматриваемого элемента.

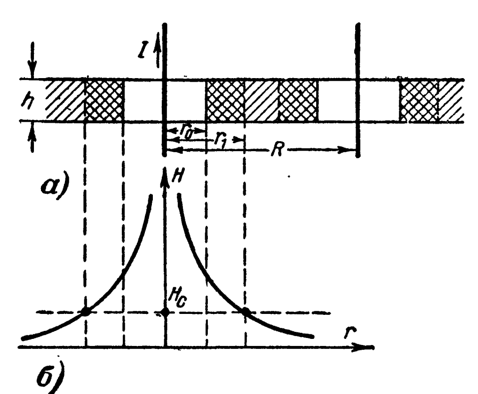


Рис. 43. Запоминающие элементы в ферритовой пластине.

а — разрез пластины; *б* — распределение напряженности поля.

Это заставляет жестко нормировать амплитуду импульсов тока и ограничивать близость расположения соседних отверстий в пластине. Установлено, что для избежания недопустимого взаимного влияния между элементами расстояние между краями соседних отверстий должно быть больше радиуса отверстий r_0.

В литературе описано экспериментальное запоминающее устройство на ферритовых пластинах толщиной $h=0{,}5$ *мм*, имеющих форму квадрата размерами 21×21 *мм*. В пластине имеется $16\times16=256$ отверстий диаметром 0,63 *мм* при расстоянии между центрами отверстий 1,27 *мм*.

На пластину наносится методом металлизации общая обмотка считывания-записи, пронизывающая все отверстия. При прессовке или литье пластины на обеих ее сторонах формируется сетка выступающих ребер (рис. 44). Эти ребра на разных сторонах пластины сдвинуты на полшага одно относительно другого. Вся пластина после изготовления покрывается слоем металла, после чего металлическое покрытие с ребер удаляется путем шлифовки. Слой металла, остающийся на поверхности пластины и на внутренних стенках отверстий, образует обмотку, последовательно пронизывающую все отверстия пластины. К этой обмотке при помощи серебряной пасты припаивают выводной проводник записи-считывания.

Другой, более простой способ получения обмотки записи-считывания — применение фотопечати — заключается в том, что на предварительно металлизированной гладкой пластине фотографи-

руется соответствующий рисунок, после травления которого образуется печатная обмотка.

Опыт применения описанных многоотверстных пластин показал, что при считывании информации импульсами с амплитудой порядка 300—400 *ма* и длительностью 2 *мксек* получается сигнал считывания около 30 *мв*.

Важное преимущество применения ферритовых пластин заключается в значительном снижении расхода энергии питания — в несколько раз по сравнению с ЗУ на ферритовых сердечниках. При дальнейшем снижении размеров пластин (уменьшении их толщины и диаметра отверстий) возможна еще большая экономия энергии питания и уменьшение размеров куба памяти и всего ЗУ, а также значительное уменьшение времени перемагничивания. Однако при этом значительно затрудняется изготовление пластин обычными способами штамповки, литья и ультразвукового сверления, а также нанесение обмотки и монтаж пластин.

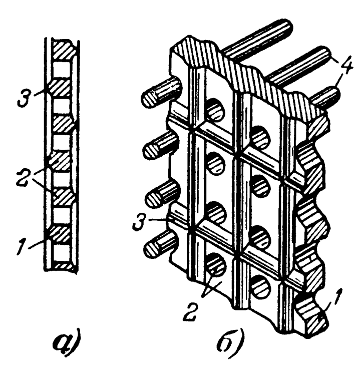


Рис. 44. Часть ферритовой пластины с металлизацией и адресными шинами.

а — поперечное сечение; *б* — общий вид. *1* — ферритовая пластина; *2* — металлическое покрытие на поверхности пластины и внутри отверстий; *3* — выступающие ребра со снятыми металлическими покрытиями; *4* — адресные шины.

Недавно в США разработан способ сверления в пластине микроотверстий электронным лучом. При этом были получены отверстия диаметром 25 *мк* с шириной перемычки между ними также 25 *мк*. На таких пластинах удавалось осуществлять переключение запоминающих элементов за время порядка 0,03 *мксек*.

Еще позднее описано ЗУ на безотверстной ферритовой пластине — так называемое слоистое ферритовое ЗУ. В нем запоминающая матрица представляет собой сплошную ферритовую плату, внутри которой расположены два ряда взаимно перпендикулярных проводников. Изоляцией между проводниками служит промежуточный слой феррита.

Такая матрица предназначается для построения ЗУ с непосредственной выборкой, при этом один ряд проводников выполняет функцию числовых шин (шины Z), а другой ряд — перпендикулярных этим шинам проводников — обмоток записи-считывания.

Запоминающим элементом здесь служит ферритовый материал небольшого объема, окружающий точку пересечения взаимно-перпендикулярных проводников. Благодаря малой величине запоминающих элементов, представляющих собой замкнутые магнитопроводы с эквивалентным диаметром 0,05—0,075 *мм*, удается достигнуть высокого быстродействия (цикл обращения всего 100 *нсек*) при управляющих токах порядка десятков миллиампер.

Как сообщается в литературе, изготовленные таким способом запоминающие платы экспериментального ЗУ имели емкость 16 8-разрядных чисел при размерах около 10×10 *мм* и толщине около 0,127 *мм*.

Достигнутые результаты позволяют предполагать, что при дальнейшем совершенствовании конструкции и технологии изготовления многоотверстных и безотверстных ферритовых пластин они могут оказаться весьма перспективными элементами для построения экономичных и малогабаритных ЗУ большой емкости и высокого быстродействия.

24. ЗАПОМИНАЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТИПА БИАКС

Один из способов неразрушающего считывания основан на взаимодействии между остаточным потоком в запоминающем элементе и полем опроса, вектор напряженности которого перпендикулярен остаточному потоку. Этот способ получил название неразрушающего считывания поперечным полем или квадратурного считывания.

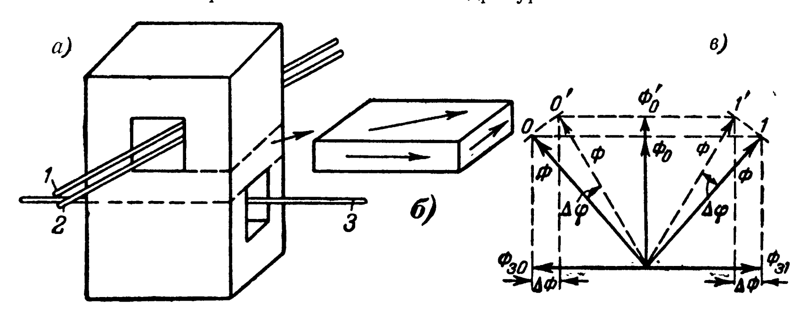


Рис. 45. Элемент типа биакс.

а — устройство элемента; *б* — ориентация магнитного потока в перемычке между отверстиями; *в* — векторные диаграммы потоков при записи и считывании.

Для считывания поперечным полем был предложен ряд вариантов ферромагнитных запоминающих элементов: сердечники с опрашивающей обмоткой, расположенной в плоскости тороида; с проводником опроса, пронизывающим стенки сердечника; ленточные сердечники, у которых ток опроса пропускается по ленте, и т. п. Одна из наиболее удачных конструкций — элемент, разработанный в лаборатории американской фирмы «Форд Мотор» и получивший наименование биакса.

Биакс (рис. 45,*а*) представляет собой ферритовый параллелепипед с двумя отверстиями квадратного или круглого сечения, оси которых взаимно-перпендикулярны (отсюда и название «биакс» — биаксиальный, двухосевой). Размеры предложенного фирмой элемента 1,25×1,25×2,1 *мм*, размеры отверстий 0,5×0,5 *мм*, толщина стенок и перемычки между отверстиями 0,375 *мм*.

Через одно из отверстий, предназначенное для хранения информации, продеты проводники записи *1* и считывания *2*. Второе, опросное отверстие предназначается для провода *3*, по которому пропускаются импульсы тока опроса (считывающие).

Рассмотрим принцип работы биакса, заключающийся во взаимодействии ортогональных потоков в перемычке между отверстия-

ми. Если намагнитить до насыщения ферритовые зоны вокруг обоих отверстий, то в перемычке между ними (рис. 45,*б*) поток насыщения Ф будет направлен по диагонали. Составляющие этого потока, относящиеся к двум отверстиям, будут, очевидно, меньше потока насыщения и равны по абсолютной величине $Ф/\sqrt{2}$.

Пусть записи в элементе «1» соответствует направление вектора $Ф_{з1}$ остаточного потока (рис. 45,*в*), создаваемого проводом *1*, направо, а записи «0» — направление вектора этого потока налево. Тогда при неизменном направлении вектора остаточного потока $Ф_0$, создаваемого полем опроса, вектор результирующего потока Ф будет занимать положение 1 при хранении «1» и положение *О* при хранении «0».

Если по проводу *3* пропускать опросные импульсы, создающие поток того же направления, что и $Ф_0$, то этот поток будет возрастать до величины $Ф'_0$. При этом вектор потока насыщения Ф, почти не возрастая по абсолютной величине, будет поворачиваться на угол $\Delta\varphi$ в направлении $Ф_0$, что приводит к уменьшению величины потока записи на величину $\Delta Ф$ и к индуктированию в проводе считывания э. д. с., пропорциональной $\Delta Ф/\Delta t$. Величина этой э. д. с. не зависит от информации, записанной в биаксе, но так как знак приращения $\Delta Ф$ различен в зависимости от того, записана ли была в биаксе единица или нуль, то и знак э. д. с. считывания определяется считываемой информацией.

После считывания в перемычке между отверстиями восстанавливается первоначальное распределение потоков, т. е. считывание информации в биаксе не сопровождается ее разрушением. Время считывания из биакса около 0,2 *мксек*, причем опрос может осуществляться в течение длительного времени с частотой до 10 *Мгц* без заметного нагревания элемента и изменения амплитуды импульсов э. д. с. считывания.

Биаксы, изготовленные из феррита с точкой Кюри 180° С, могут нормально работать при температуре окружающей среды до 125° С.

Биаксы несколько измененной конструкции — без стенки между отверстиями — могут применяться и в качестве элементов логических схем.

Наряду с описанными элементами за последние годы предложен ряд более технологичных элементов с неразрушающим считыванием, основанных на взаимодействии остаточного потока и поля опроса, создаваемых отверстиями с параллельными осями. В качестве таких элементов можно использовать и участки многоотверстных ферритовых пластин, включающие два или более отверстий и ферритовый материал в перемычках между отверстиями, где происходит взаимодействие между остаточным потоком записи и полем опроса.

25. ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА ТРАНСФЛЮКСОРАХ

Применяя ферритовые сердечники с прямоугольной петлей гистерезиса с двумя и более отверстиями, можно создать запоминающие элементы, допускающие многократное считывание без разрушения информации. Эти элементы получили название трансфлюксоров в связи с тем, что их принцип действия основан на перераспределении магнитного потока в ветвях сложного магнитопровода, образуемого сердечником с несколькими отверстиями.

Принцип действия простейшего трансфлюксора иллюстрируется изображенными на рис. 46 различными его состояниями. Здесь изображен трансфлюксор с двумя круглыми отверстиями неравного диаметра, расположенными так, что магнитопровод имеет участки *1*, *2* и *3* (рис. 46,*а*), при этом площади поперечного сечения участков *2* и *3* одинаковы, а площадь сечения участка *1* больше суммы сечений участков *2* и *3*.

Пусть импульсом тока, пропущенным по обмотке w_1, сердечник намагничен в направлении, показанном на рисунке, до насы-

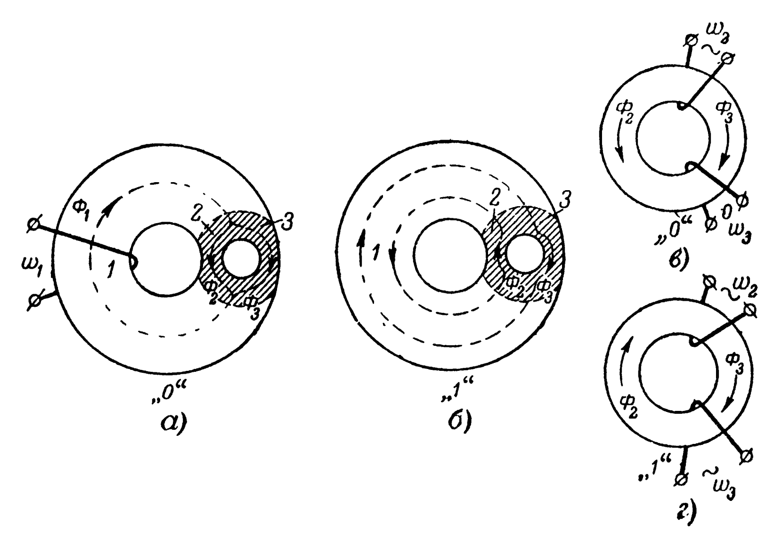


Рис. 46. Принцип действия трансфлюксора с двумя отверстиями.

щения и вследствие прямоугольности петли гистерезиса это состояние насыщения сохраняется в нем и после прекращения импульса. Такому состоянию сердечника, когда все его участки намагничены до насыщения в направлении по часовой стрелке, припишем значение «0».

Пропустим теперь по обмотке w_1 установочный импульс, т. е. импульс тока, создающий м. д. с., противоположную по направлению, хотя и недостаточную по величине для перемагничивания всего сердечника, но достаточную для того, чтобы изменить магнитное состояние наиболее короткого участка магнитопровода, прилегающего непосредственно к большому отверстию и включающего в себя часть сечения *1* и все сечение *2*. Состоянию, в котором после прохождения установочного импульса будет находиться трансфлюксор, соответствует распределение магнитных потоков, изображенное на рис. 46,*б*. Этому состоянию, при котором потоки вокруг малого отверстия Φ_2 и Φ_3 направлены в противоположные стороны, припишем значение «1».

Изобразим теперь отдельно зону сердечника вокруг малого отверстия, заштрихованную и обведенную на рис. 46,*а, б* пунктиром, и назовем ее малой зоной. Эту зону можно, очевидно, рассматривать как намагниченный до насыщения автономный тороидальный сердечник, по обоим полукольцам которого в состоянии «0» магнитные потоки направлены навстречу друг другу (рис. 46,*в*), а в состоянии «1» магнитный поток замыкается по кольцу по часовой стрелке (рис. 46,*г*).

Поместим на это кольцо две обмотки w_2 и w_3; к обмотке w_2 подведем переменный ток, а обмотку w_3 используем как выход схемы. Амплитуду тока, подаваемого в обмотку w_2, ограничим так, чтобы создаваемая им м. д. с., будучи достаточной для изменения магнитного состояния зоны вокруг малого отверстия, оказывалась слишком слабой для изменения магнитного состояния всего сердечника трансфлюксора.

Тогда, если трансфлюксор находится в состоянии «0», м. д. с., создаваемая переменным током, всегда будет совпадать по направлению с одним из магнитных потоков Φ_1 или Φ_2 в одной или другой половине малой зоны. Однако, так как весь материал находится в состоянии насыщения и дальнейшее увеличение магнитного потока в нем практически невозможно, магнитный поток в зоне изменяться не будет и в обмотке w_3 не будет индуктироваться сколько-нибудь значительной э. д. с.

Если же трансфлюксор находится в состоянии «1», причем магнитный поток в малой зоне направлен по часовой стрелке, то в один полупериод переменного тока, когда м. д. с. совпадает по направлению с магнитным потоком, последний вследствие состояния насыщения практически изменяться не будет, но во второй полупериод при направлении м. д. с., встречном потоку, будет происходить изменение магнитного состояния малой зоны на противоположное. В следующий полупериод будет восстанавливаться прежнее состояние, и т. д. Следовательно, в обмотке w_3 будет индуктироваться э. д. с. и на выходе появится переменное напряжение, являющееся сигналом считывания «1». Таковы физические основы запоминания и считывания информации без ее разрушения в трансфлюксорах.

Практически для считывания информации используют не переменный ток, а два знакопеременных импульса. ЗУ на трансфлюксорах строятся в виде матрицы, подобно ЗУ на ферритовых сердечниках (рис. 29). При этом функцию обмотки w_1 (рис. 46,*а*) выполняют адресные шины записи, которые продеваются через большие отверстие трансфлюксоров.

Информация записывается по принципу совпадения токов, причем запись «0» или «1» определяется направлением и амплитудой импульсов в шинах записи.

Импульсы считывания подаются в адресные шины считывания, которые пропускаются через малые отверстия трансфлюксоров и заменяют собой обмотку w_2 (рис. 46,*в* и *г*). Функцию обмотки выполняет продетый через малые отверстия всех трансфлюксоров матрицы провод считывания.

Матричное ЗУ на трансфлюксорах допускает одновременную и независимую запись и считывание по разным адресам.

26. ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА ТВИСТОРАХ

В 1957 г. в лабораториях фирмы Белл (США) было разработано ЗУ, в котором хранение информации осуществляется на магнитной проволоке. В первой конструкции этого ЗУ применялась предварительно скрученная проволока из ферромагнитного материала, откуда такие запоминающие элементы и получили название твисторов (от английского twist — крутить).

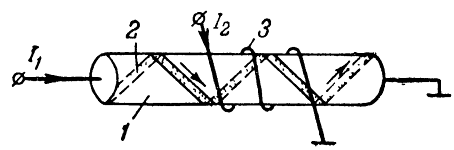


Рис. 47. Твистор с одной обмоткой на предварительно скрученной магнитной проволоке.

1 — проволока из магнитного материала; *2* — направление легкого намагничивания; *3* — обмотка.

Работа такого твистора основана на неодинаковости магнитных свойств по различным направлениям материала, испытывающего механические напряжения. При этом в материале возникают направления легкого намагничивания, совпадающие с направлениями наибольшего сжатия или растяжения материала (в зависимости от знака коэффициента магнитострикции). В частности, в предварительно скрученной магнитной проволоке направление легкого намагничивания имеет вид спирали, ось которой совмещена с осью проволоки.

Устройство простейшего твистора с одной обмоткой показано схематически на рис. 47. При пропускании тока I_1 по проволоке создается поле, перпендикулярное ее оси, а при возбуждении обмотки током I_2 — поле, направленное вдоль этой оси. Одновременное возбуждение твистора токами I_1 и I_2 позволяет создать магнитное поле, совпадающее по направлению с направлением легкого возбуждения. Таким образом, в твисторе может быть записана информация по методу совпадения двух токов.

Считывать информацию можно, пропуская по обмотке достаточно большой ток I_2 противоположного направления. Тогда на концах магнитной проволоки, выполняющей функцию шины считывания, возникает э. д. с., обусловленная поворотом вектора намагниченности в возбужденном элементе. Величина этой э. д. с. оказывается значительно большей при считывании предварительно намагниченных участков магнитной проволоки, на которых записана «1», чем при считывании ненамагниченных участков с записью «0». Возможно также изготовление твисторов и на основе не скрученной заранее магнитной проволоки.

Для создания ЗУ большой емкости более перспективны твисторы из немагнитной проволоки, которая обматывается ферромагнитной спиральной лентой. Описанные в литературе твисторы такого типа изготовлялись на медной проволоке диаметром 0,08 *мм*, которая машинным способом обматывалась по спирали плоской лентой из пермаллоя шириной 0,13 *мм* и толщиной 0,008 *мм*. Длина каждого твисторного элемента равнялась 1,6 *мм*, при этом в пределах одного элемента укладывается около 10 витков пермаллоевой ленты. Время переключения в таком твисторе составляет около 1 *мксек* при токе считывания в медном проводнике порядка 2 *а*.

С технологической точки зрения более совершенен процесс изготовления твисторов электролитическим способом. При этом на пружинную проволоку из бериллиевой меди, предварительно очищенную химическим способом, осаждается магнитный слой состава 9% железа, 81% никеля и 10% молибдена.

На рис. 48 приведена схематическая конструкция экспериментального ЗУ на твисторах с непосредственной выборкой. Твисторные проволоки, количество которых равно количеству разрядов в запоминаемых числах, укладываются параллельно и охватываются U-образными медными полосками (числовыми шинами), пропущенными через тороидальные магнитные сердечники, выполняющие функцию магнитных ключей.

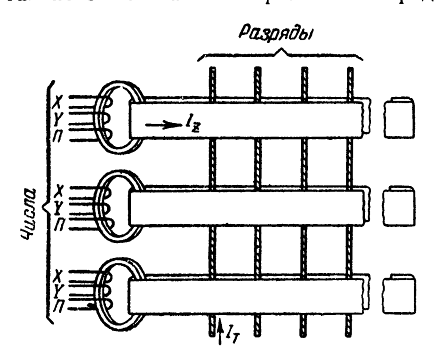


Рис. 48. Схематическая конструкция запоминающего устройства на твисторах.

Запись информации осуществляется здесь по принципу совпадения токов I_z в избранной числовой шине и $I_т$ в разрядной твисторной проволоке. Выбор числовой шины происходит при перемагничивании соответствующего магнитного ключа, которое достигается совпадением токов в его обмотках *X* и *Y*. Обмотка *П* предназначается для создания постоянного подмагничивающего поля, что позволяет осуществлять форсированное перемагничивание сердечников большими токами. Полный цикл обращения к ЗУ составляет около 6 *мксек.*

На твисторах можно строить ЗУ как с разрушающим, так и с неразрушающим считыванием информации.

Относительно высокая скорость работы и надежность, малые габариты, низкая стоимость и достаточно хорошая технологичность делают целесообразным в некоторых конкретных случаях построение на твисторах как ЗУ большой емкости, так и некоторых других устройств цифровой вычислительной техники.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

НОВЫЕ ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА БОЛЬШОЙ ЕМКОСТИ И ВЫСОКОГО БЫСТРОДЕЙСТВИЯ

27. ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА ТОНКИХ МАГНИТНЫХ ПЛЕНКАХ

Активные поиски новых ЗУ, характеризующихся высоким быстродействием и хорошей технологичностью, привели к разработке запоминающих элементов на тонких магнитных пленках.

Магнитную пленку называют тонкой в том случае, если толщина ее не превышает ширины стенки (пограничного слоя) между доменами[1]. В настоящее время применяют пленки толщиной порядка сотен или тысяч ангстрем. В тонкой пленке перпендикулярно ее плоскости может располагаться только один домен, и векторы намагниченности в ней при отсутствии внешних возмущений ориентированы в плоскости пленки. Процессы перемагничивания тонкопленочных запоминающих элементов обусловливаются в основном вращением векторов намагниченности доменов. Этот процесс значительно менее инерционен, чем движение стенок доменов, и это дает возможность строить на тонких магнитных пленках ЗУ с быстродействием, на один-два порядка более высоким, чем у обычных ЗУ на ферритовых элементах.

Большое отношение поверхности пленочного элемента к его объему создает хорошие условия охлаждения, что позволяет успешно эксплуатировать их при частотах перемагничивания порядка 3—5 *Мгц* и выше, тогда как ферритовые сердечники при частотах 1—2 *Мгц* уже нагреваются выше допустимой температуры.

Благодаря малой толщине пленок в них практически отсутствуют вихревые токи. Температура Кюри у пермаллоевых магнитных пленок равна 650—700° С, а рабочий диапазон температур составляет от —100 до +200° С, т. е. значительно шире, чем у ферритов.

Важные преимущества ЗУ на пленках состоят также в их экономичности, малом объеме и технологической возможности изготовления запоминающих элементов, соединительных проводников и шин и других элементов в едином комплексном процессе, основанном на новейших достижениях технологии массового производства микроминиатюрных блоков и схем.

При изготовлении пленок практическое распространение получили следующие методы: а) осаждение паров металла в вакууме; б) напыление в атмосфере газа или в вакууме; в) электролитическое осаждение (гальваностегия).

Наиболее часто применяется метод испарения ферромагнитных металлов в вакууме и осаждения их паров на специальных подложках. Конструкция установки для изготовления таких пленочных элементов показана схематически на рис. 49. В вакуумной камере, в которой поддерживается разрежение порядка $10^{-5} \div 10^{-6}$ *мм рт. ст.*, помещен тигель из тугоплавкой керамики, заполненный ферромагнитным материалом, подлежащим испарению. Чаще всего для этой цели применяют пермаллой состава около 80% никеля и около 20% железа. Нагревают металл обычно токами высокой частоты.

В верхней части камеры располагается подложка, в качестве которой в опытных установках применяют предметные стекла микроскопов. Хорошие результаты дает предварительное осаждение на подложке слоя SiO_2.

---

[1] Домены — области внутри ферромагнитного вещества, которые самопроизвольно, независимо от наличия внешнего магнитного поля, намагничены до насыщения. Это объясняется тем, что миллиарды атомов внутри доменов ориентированы своими магнитными моментами параллельно друг другу. Домены имеют линейные размеры порядка сотых долей миллиметра.

Для того чтобы создать в пленке начальную магнитную ориентацию векторов намагниченности в заданном направлении у подложки создается сильное магнитное поле с напряженностью порядка нескольких тысяч или десятков тысяч ампер на метр. Для отжига пленки и улучшения ее сцепления с подложкой последнюю подогревают до 300—400° С.

Осаждение металла на подложку происходит через маску с отверстиями, формой и размерами которых определяется геометрия отдельных пленочных элементов, образующихся на подложке. Чаще всего применяют круглые, квадратные или прямоугольные пятна размерами от одного до нескольких миллиметров. Могут применяться в качестве плат также и сплошные пленки, в которых отдельные элементы представляют собой просто зоны в районе пересечения ортогональных возбуждающих шин.

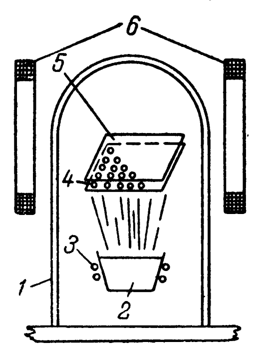


Рис. 49. Схематическая конструкция установки для изготовления пленочных элементов методом испарения в вакууме.

1—вакуумная камера; *2*—тигель; *3* — обмотка для высокочастотного нагрева; *4*—металлическая маска; *5* — стеклянная подложка; *6* — катушки для создания магнитного поля.

После осаждения магнитной пленки при массовом изготовлении плат ЗУ в соседней секции вакуумной установки может быть нанесен на пленку слой кремнийорганической изоляции, затем в следующей секции через маску — медные горизонтальные шины, опять слой изоляции, медные вертикальные шины и т. д. Таким образом, может быть автоматизирован и осуществлен поточным методом не только процесс изготовления самих пленочных элементов, а и комплексный процесс изготовления целых запоминающих плат с шинами или даже целых кубов памяти.

Имеются сообщения об экспериментах электролитического нанесения пермаллоевых пленок на поверхность майлара (линейный полимер, близкий аналог которого— отечественный материал лавсан), предварительно металлизированную хромом и медью в вакууме.

На рис. 50 показаны формы петель гистерезиса пермаллоевых пленок, изготовленных методом осаждения паров металла в вакууме. Эти кривые снимались при различных значениях угла между направлением легкого намагничивания пленки и направлением приложенного магнитного поля. При совпадении этих направлений (рис. 50,*а*) петля гистерезиса имеет почти идеально прямоугольную форму, причем хорошая прямоугольность сохраняется и в тех случаях, когда пленка представляет собой одно из звеньев разомкнутого магнитопровода.

Исследованиями установлено, что для пленок толщиной менее 300 Å время перемагничивания практически не зависит от их толщины. На рис. 51 изображена снятая экспериментальным путем кривая зависимости времени перемагничивания τ от приложенной напряженности поля H для пленки, изготовленной из сплава никеля, кобальта и железа. Из кривой видно, что при напряженностях

поля порядка 1 000 *а/м* и более пленка перемагничивается за время, равное десятым и даже сотым долям микросекунды. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что для лучших образцов пленок при оптимальном выборе их размеров время

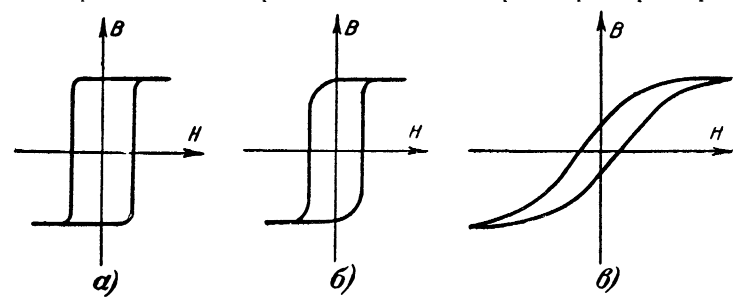


Рис. 50. Петли гистерезиса железо-никелевой пленки.

а — при воздействии поля, совпадающего по направлению с направлением легкого намагничивания; *б* — при угле 45° между этими направлениями; *в* — то же при угле 90°.

перемагничивания может быть снижено до единиц наносекунд при воздействии поля напряженностью порядка 1 000 *а/м*. Это открывает пути создания весьма быстродействующих оперативных ЗУ на магнитных пленках.

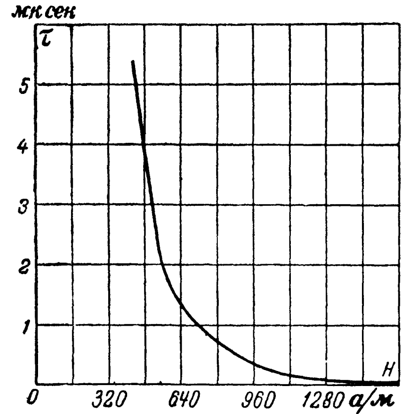


Рис. 51. Кривая зависимости времени перемагничивания от напряженности поля.

Схематическая конструкция экспериментального ЗУ на пленочных элементах показана на рис. 52. Такое ЗУ емкостью 32 десятиразрядных числа еще в 1959 г. было введено в опытную эксплуатацию в машине ТХ-2 Массачузетского технологического института (США).

Запоминающие элементы этого устройства представляют собой круглые пермаллоевые пятна толщиной 750 Å и диаметром 1,6 *мм*. Они нанесены в количестве 16×16 шт. методом осаждения паров металла в вакууме на плоскую стеклянную подложку толщиной 0,1 *мм*. Расстояние между центрами соседних пятен равно 2,5 *мм*.

ЗУ построено по принципу непосредственной выборки, при этом для записи числа ток в числовой шине составляет около 250 *ма* и в разрядном проводе — около 200 *ма*. Сигнал считывания

«1» составляет около 1 *мв*. Полный цикл обращения к ЗУ, с учетом задержки сигналов в усилителях записи и считывания, составляет 0,8 *мксек*, что соответствует циклу работы машины ТХ-2. Однако во время испытаний установлена полная возможность сокращения цикла работы до 0,4 *мксек*.

В 1961 г. в том же институте разработана машина FX-1, в которой на магнитных пленках построено основное оперативное ЗУ с полным циклом обращения 0,3 *мксек*. Первоначально емкость этого ЗУ составляла 256 13-разрядных чисел, а затем была увеличена вчетверо.

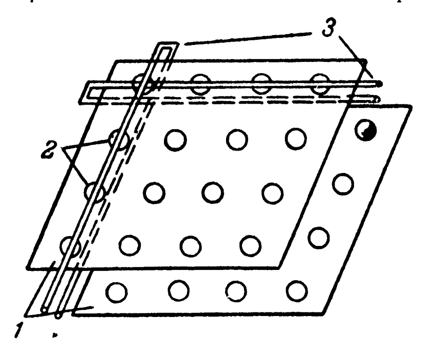


Рис. 52. Схематическая конструкция экспериментального пленочного запоминающего устройства.

1 — стеклянные подложки; *2* — кружочки пермаллоевой пленки; *3* — провода записи и считывания.

В одной из американских машин (ADD) наряду с оперативным работает также постоянное ЗУ на магнитных пленках с общей емкостью 6656 24-разрядных двоичных чисел. Одно из наиболее быстродействующих — экспериментальное ЗУ, разработанное в исследовательской лаборатории фирмы ИБМ в Цюрихе (Швейцария). Это ЗУ емкостью 32 21-разрядных числа имеет полный цикл обращения 0,1 *мксек*. Запоминающие элементы имеют форму прямоугольника размерами 0,5×1 *мм*, причем все 672 элемента размещены на одной подложке размерами 51×51 *мм*.

В этой же лаборатории разработана модель ЗУ на пленочных элементах размерами 0,3 × 0,65 *мм* и толщиной 500 Å, получаемых способом фототравления. Емкость этого ЗУ—256 72-разрядных чисел, а полный цикл обращения — 60 *нсек*.

Наряду с описанными плоскими конструкциями пленочных запоминающих элементов создан ряд опытных конструкций цилиндрических запоминающих устройств на стеклянных стержнях, покрытых магнитной пленкой. В одном из вариантов таких устройств основой конструкции служат стеклянные стержни толщиной 0,25 *мм*, на которые вначале наносится слой серебра, а затем сплав железа с никелем. Каждый запоминающий элемент содержит участок стержня с пленкой, охваченной четырьмя обмотками: двумя входными, одной выходной и одной разрешающей. На 1 *см* длины стержня может размещаться до четырех запоминающих элементов. Размеры запоминающего блока емкостью 768 двоичных цифр составляют 56 × 56 × 56 *мм*.

Из сказанного можно сделать вывод, что ЗУ на тонких пленках благодаря высокому быстродействию, надежности, технологичности, экономичности и малым габаритам представляют собой принципиально один из наиболее перспективных видов ЗУ на ближайшие годы. Однако широкое внедрение их при изготовлении бы-

стродействующих кибернетических машин требует дальнейшей интенсивной работы по улучшению конструкций и технологии изготовления пленочных ЗУ, повышению однородности их параметров и разработке соответствующих схем управления.

28. ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА ТУННЕЛЬНЫХ ДИОДАХ

Большие перспективы развития техники сверхбыстродействующих электронных цифровых машин сулит применение в их схемах туннельных диодов. В частности, на туннельных диодах могут строиться сверхоперативные ЗУ с циклом обращения порядка десятков и даже единиц наносекунд.

Туннельный диод был изобретен в 1958 г. японским ученым Эсаки. В основе действия туннельного диода лежит туннельный

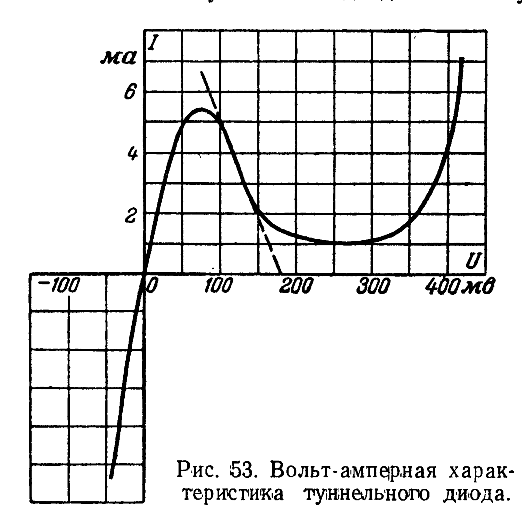


Рис. 53. Вольт-амперная характеристика туннельного диода.

эффект, состоящий в том, что благодаря волновым свойствам материи электроны могут проникать через потенциальные барьеры, непроницаемые для обычных частиц.

Вследствие туннельного эффекта при нарастании напряженности поля в пределах 10^5—10^6 *в/см* в диоде происходит резкий пробой. Он наблюдается во всей области отрицательных напряжений и на определенном участке положительных напряжений, приложенных к диоду. На рис. 53 изображена вольт-амперная характеристика германиевого туннельного диода, снятая на постоянном токе.

В настоящее время для изготовления туннельных диодов используются также кремний и арсенид галлия.

При достаточно большой площади максимальный ток в опытных образцах германиевых туннельных диодов достигал нескольких ампер, а в кремниевых — до ампера при напряжениях порядка

долей вольта. Тепловые потери в туннельных диодах весьма незначительны.

Важное свойство туннельных диодов заключается в весьма широком диапазоне температур, в котором сохраняется падающий участок их вольт-амперной характеристики. При экспериментах с кремниевыми диодами установлено, что у них этот участок сохранялся в пределах от 4,2° (температура жидкого гелия) до 625—650° К. Германиевые туннельные диоды нормально работают в интервале температур от —160 до +140° С, а некоторые диоды из арсенида галлия могут работать при температуре до +300° С.

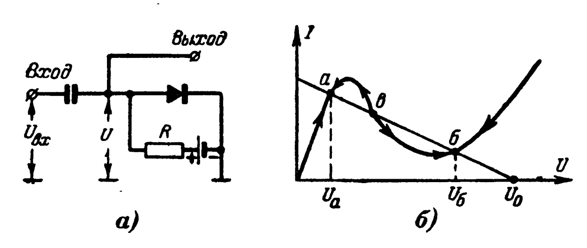


Рис. 54. Схема использования туннельного диода в режиме переключения (*а*) и график зависимости между токами и напряжениями в этой схеме (*б*).

Наконец, выявлена высокая устойчивость работы туннельных диодов при радиоактивном облучении. Это позволяет применять их для повышения надежности электронных устройств специального назначения.

Возможность построения запоминающих элементов на туннельных диодах основана на их свойстве работать в режиме триггера и сохранять одно из двух устойчивых состояний. Рассмотрим этот режим работы.

На рис. 54,*а* изображена схема включения диода в режиме триггера, а на рис. 54,*б* приведен график, характеризующий зависимость между токами и напряжениями в схеме.

Напряжение U на диоде относительно «земли» при напряжении источника смещения U_0 и токе I в цепи, включающей этот источник, диод и постоянное сопротивление R, будет:

$$U = U_0 - IR,$$

откуда

$$I = \frac{1}{R} U_0 - \frac{1}{R} U.$$

Это выражение представляет собой уравнение прямой, отсекающей на осях абсцисс и ординат соответственно отрезки $U = U_0$ и $I = U_0/R$, а точки пересечения *а*, *б* и *в* этой прямой с вольт-амперной характеристикой диода являются точками, характеризующими одно из трех возможных устойчивых состояний данной схемы.

Однако, если проанализировать процессы в схеме, то можно убедиться, что только два из трех возможных состояний схемы устойчивы, а именно состояния, характеризующиеся точками *а* и *б*. В самом деле, если схема находится в состоянии, соответствующем точке *в*, то любое изменение тока в ней будет вызывать изменение напряжения, способствующее изменению тока в том же направлении, и схема перейдет либо в устойчивое состояние *а* (когда начальным толчком было увеличение тока I или уменьшение напряжения U), либо в устойчивое состояние *б* (когда начальным толчком было уменьшение тока I или увеличение напряжения U).

Рассмотрим временные диаграммы работы описываемой схемы, приведенные на рис. 55. Пусть начальное состояние схемы характеризуется точкой *а* (рис. 54,*б*). При этом на выходе схемы имеется малое напряжение $U_а$. В момент времени t_1 на вход схемы поступает положительный импульс, который перебрасывает схему во второе устойчивое состояние, характеризующееся точкой *б*. При этом напряжение на выходе схемы достигнет большей величины $U_б$, и это новое состояние схемы будет сохраняться до тех пор, пока в некоторый момент времени t_2 на вход не поступит отрицательный импульс, возвращающий схему в начальное состояние. Приписывая одному из устойчивых состояний (например, состоя-

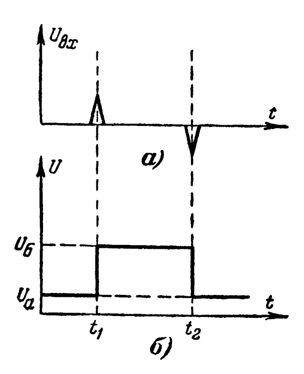
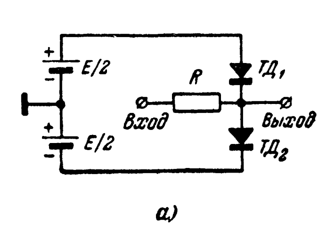


Рис. 55. Временные диаграммы работы туннельного диода в режиме переключения.



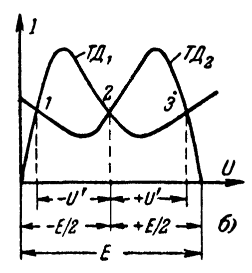


Рис. 56. Схема запоминающего элемента на двух диодах — твина (*а*) и вольт-амперная характеристика твина (*б*).

нию, соответствующему $U_а$) значение «0», а другому состоянию (соответствующему $U_б$) — значение «1», можно использовать рассмотренную схему в качестве запоминающего элемента. Время срабатывания триггера на туннельном диоде — порядка десятков или даже единиц наносекунд.

Более надежна схема триггера на двух диодах, получившая название «пара» или «твин». Схема твина изображена на рис. 56,*а*,

а соответствующие ей вольт-амперные характеристики—на рис. 56,*б*. В этой схеме можно считать, что один из диодов, например $ТД_2$, служит сопротивлением нагрузки для диода $ТД_1$.

Если построить две вольт-амперные характеристики для диодов $ТД_1$ и $ТД_2$ (рис. 56,*б*), то три точки их пересечения будут соответствовать трем состояниям равновесия схемы. При этом состояния, соответствующие точкам *1* и *3*, устойчивы, а состояние *2* — неустой-

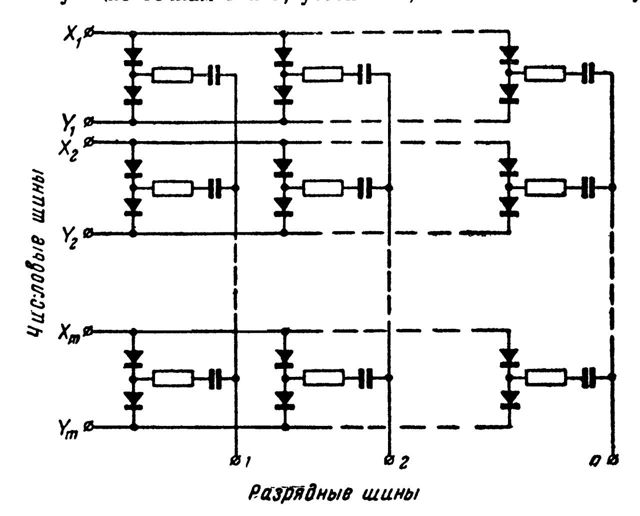


Рис. 57. Схема ЗУ с непосредственной выборкой на твинах.

чиво. Устойчивому состоянию *1* соответствует напряжение на выходе $-U'$, а состоянию *3* — напряжение на выходе $+U'$.

Схема ЗУ с непосредственной выборкой, построенного на твинах, приведена на рис. 57. Здесь шины X_1Y_1, $X_2Y_2, \ldots, X_mY_m$, выполняют функции селектирующих шин для выбора нужной числовой линейки. Шины *1*, *2*, ..., *n* выполняют функции разрядных проводников, используемых как для записи, так и для считывания информации. При считывании информации на выходах этих шин появляются импульсы различной полярности, в зависимости от того, была ли в опрашиваемом элементе записана «1» или «0». Аналогично и запись в некотором элементе выбранной числовой линейки «1» или «0» осуществляется подачей в разрядную шину импульса той или иной полярности.

Разрядные шины соединены со средними точками диодных пар запоминающих элементов через элементы развязки, состоящие из активного сопротивления и конденсатора. В качестве элементов развязки могут быть более эффективно применены нелинейные элементы — точечные или туннельные диоды, а также специальные обращенные туннельные диоды.

В настоящее время уже разработаны ЗУ емкостью в несколько десятков чисел на туннельных диодах, которые могут быть при-

менены в качестве сверхоперативных ЗУ электронных цифровых машин. Разработки ЗУ с нелинейными элементами свидетельствуют о реальной возможности создания устройств емкостью порядка сотен чисел с циклом обращения порядка 10 *нсек* и менее.

29. КРИОГЕННЫЕ ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Криогенными приборами (от греческого слова «криос» — холод) называют приборы, работающие в условиях глубокого охлаждения — при температурах, близких к абсолютному нулю. При таких низких температурах у ряда элементов и некоторых сплавов наблюдается явление сверхпроводимости, заключающееся в скачкообразном исчезновении электрического сопротивления при охлаждении ниже определенной критической температуры. Если в кольце из сверхпроводящего металла возбудить ток, то он будет, не затухая, протекать в кольце в течение неопределенно долгого промежутка времени.

Интересно отметить, что сверхпроводимость при охлаждении появляется у металлов, представляющих в нормальных условиях не очень хорошие проводники (медь, серебро и золото этим свойством не обладают). Для некоторых металлов явление сверхпроводимости наступает при следующих значениях критических температур (в градусах Кельвина): ртуть — 4,12°, свинец — 7,26°, алюминий — 1,18°, тантал — 4,38°, ниобий — 8,0°.

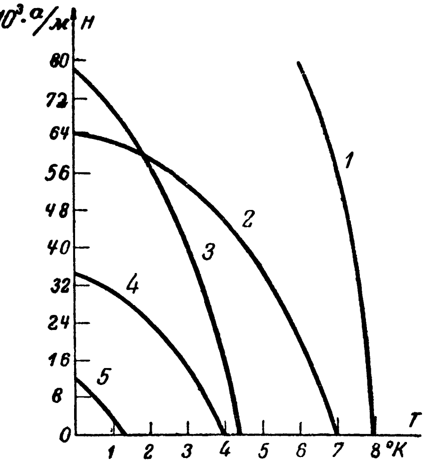


Рис. 58. Зависимость порогового магнитного поля от температуры для некоторых сверхпроводников.

1 — ниобий; *2* — свинец; *3* — тантал; *4* — ртуть; *5* — алюминий.

Однако даже при температуре ниже критической состояние сверхпроводимости может быть разрушено внешним магнитным полем, если его напряженность достигнет некоторой достаточной величины $H_к$, называемой критическим или пороговым магнитным полем. Кривые зависимости критического магнитного поля от температуры для некоторых сверхпроводников приведены на рис. 58.

Описанные явления и положены в основу созданного в 1955 г. сверхпроводникового прибора, получившего название криотрона, в котором используется возможность управления состоянием сверхпроводимости при помощи магнитного поля.

Простейший криотрон (рис. 59,*а*) состоит из танталового стержня длиной около 2,5 *см* и диаметром около 0,3 *мм* с однослойной

обмоткой из изолированной ниобиевой проволоки диаметром 0,1 *мм*. Плотность намотки — до 100 витков на 1 *см*. Прибор помещен в криостат, в котором поддерживается температура 4,2° К. При этом как тантал, так и ниобий находятся в сверхпроводящем состоянии. Однако если пропустить по обмотке ток порядка 200—300 *ма*, то созданное им магнитное поле напряженностью около 3 200 *а/м* вызовет скачкообразный переход тантала из состояния сверхпроводимости в состояние нормальной проводимости, при этом сопротивление танталового стержня мгновенно изменится от нуля до

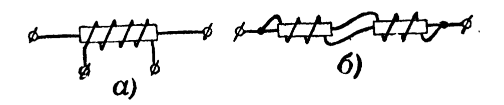


Рис. 59. Схема простейшего криотрона (*а*) и криотронного триггера (*б*).

некоторой конечной величины. Так как критическая температура ниобия значительно выше, то ниобиевая обмотка останется в сверхпроводящем состоянии. В криотроне центральный танталовый стержень как бы аналогичен анодной цепи электронной лампы, а управляющая обмотка — цепи управляющей сетки. В отличие от электронной лампы направление токов в обеих цепях криотрона не имеет значения для его работы.

На рис. 59,*б* изображена схема простейшего элемента с двумя устойчивыми состояниями равновесия, собранного на двух криотронах, — криотронного триггера. В этой схеме для тока имеются два параллельных пути, каждый из которых включает обмотку одного и стержень другого криотрона. Казалось бы, подводимый ток должен разветвиться поровну между обеими параллельными ветвями. Однако наличие тока в одной из ветвей, например в ветви, состоящей из стержня первого криотрона и обмотки второго, переведет стержень второго криотрона в состояние нормальной проводимости; сопротивление этой ветви станет конечным, и, следовательно, практически весь ток будет продолжать протекать по первой ветви.

Для того чтобы перевести криотронный триггер в другое устойчивое состояние, нужно тем или иным способом перевести снова в состояние сверхпроводимости стержень второго криотрона и разрушить сверхпроводимость стержня первого. Тогда произойдет перераспределение токов в цепях триггера, которое будет устойчиво сохраняться до нового воздействия извне.

На рис. 60 показана схема управляемой запоминающей ячейки, собранной на шести криотронах. Такая ячейка может быть использована в качестве элемента криогенного ЗУ.

На схеме стержни соответствующих криотронов обозначены $c_1, c_2, \ldots, c_6$, а их обмотки — $o_1, o_2, \ldots, o_6$. На входы «0» и «1» подаются импульсы записи соответственно нуля и единицы. Токи считывания получаются на выходах «0» и «1».

По схеме непрерывно протекает основной ток питания I, который замыкается по одной из двух параллельных ветвей. Пусть ток I замыкается по цепи c_2—c_4—o_3—o_5. Прохождение тока через обмотки o_3 и o_5 разрушает сверхпроводимость стержней c_3 и c_5, в результате чего по цепи c_1—c_3—o_4—o_6 ток протекать не будет. Такое состояние схемы, соответствующее записи «0», будет без внешнего воздействия устойчиво сохраняться сколь угодно долго. При этом стержень c_5 имеет нормальное конечное сопротивление, а стержень c_6 находится в сверхпроводящем состоянии. Следовательно, при подаче импульса тока считывания $I_{\text{вых}}$ он попадает через стержень c_6 на выход «0».

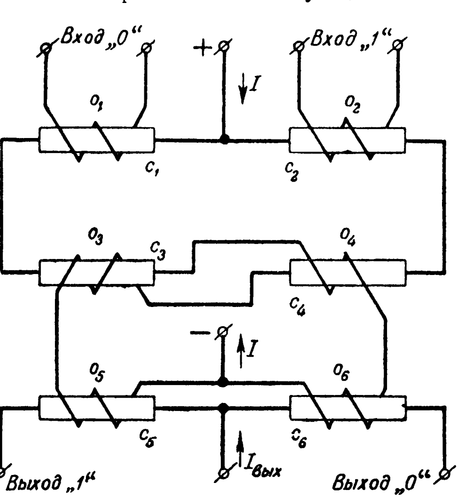


Рис. 60. Схема запоминающей ячейки на криотронах.

Для изменения состояния схемы нужно подать импульс на ее вход «1». При этом разрушится сверхпроводимость стержня c_2, оба направления для тока I станут равновозможными, и он разветвится пополам. Значение тока $I/2$ меньше критического, и, следовательно, стержни всех остальных криотронов окажутся в сверхпроводящем состоянии. Но так как импульс записи еще продолжает удерживать стержень c_2 в состоянии нормальной проводимости, то ток I теперь полностью замкнется по ветви c_1—c_3—o_4—o_6. При этом разрушится сверхпроводимость стержней c_4 и c_6 и в результате даже после прекращения записи «1» ток по цепи c_2—c_4—o_3—o_5 протекать не будет.

В этом устойчивом состоянии схемы, соответствующем записи «1», стержень c_5 находится в сверхпроводящем состоянии, а стержень c_6 имеет конечное сопротивление.

Следовательно, импульс тока считывания попадает через стержень c_5 на выход «1».

Криотроны как элементы схем просты, дешевы, имеют малые размеры и изготавливаются из доступных материалов. Благодаря тому, что токи в них протекают по сверхпроводящим участкам цепей, активные потери близки к нулю. Все это позволяет создавать ЗУ большой емкости при размерах порядка десятков кубических дециметров и мощности питания порядка долей ватта. Правда, при этом не учитываются размеры и мощность охладителя, в котором используется жидкий гелий, и остального вспомогательного оборудования. Поэтому применение криотронных ЗУ конструктивно и экономически может быть оправдано лишь при достаточно большой их емкости, когда суммарная экономия на питании отдель-

ных элементов превышает расходы на криогенную установку и вспомогательное оборудование.

Время срабатывания криотронного триггера порядка десятков микросекунд заметно превышает время срабатывания ламповых и полупроводниковых триггеров. Поэтому описанные триггеры на криотронах, по-видимому, найдут в ЗУ лишь ограниченное применение, особенно если учесть, что в последние годы разработаны новые быстродействующие простые и экономичные криогенные элементы, основанные на явлении сохранения однажды возбужденного тока в сверхпроводнике в течение неограниченно долгого времени.

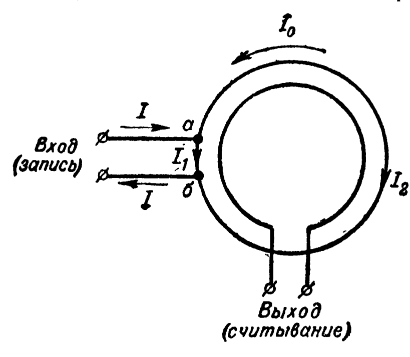


Рис. 61. Криогенный элемент памяти с разделением токов в сверхпроводящем кольце.

Один из типов таких криогенных элементов памяти показан на рис. 61. Он состоит из сверхпроводящего кольца, к которому в двух точках *а* и *б* подсоединены входные проводники. Для считывания служит второй (разомкнутый) виток, индуктивно связанный со сверхпроводящим кольцом. Запись нуля производится импульсом тока одного направления, а запись единицы — противоположного направления.

Пусть входящий ток направлен, как изображено на рисунке. Ток I в сверхпроводящем кольце разветвится: по кратчайшему пути между точками *а* и *б*, т. е. по левой ветви, потечет ток I_1, а по значительно более длинному пути — по правой ветви — ток I_2. Хотя активные сопротивления обеих ветвей благодаря состоянию сверхпроводимости и равны нулю, но, так как индуктивность более короткого левого участка значительно меньше индуктивности правого участка, то $I_1 \gg I_2$, и практически можно считать, что $I_1 \approx I$.

После окончания импульса записи в сверхпроводящем кольце, очевидно, будет продолжать сколь угодно долго циркулировать разностный остаточный ток $I_0 = I_1 - I_2 \approx I_1 \approx I$ в направлении большего тока I_1, т. е. против часовой стрелки.

Если подвести ко входу импульс тока противоположного направления, то после окончания этого импульса в кольце установится остаточный ток, направленный по часовой стрелке. Таким образом, путем изменения направления остаточного тока в элементе фиксируется запись «0» или «1».

При каждом изменении направления тока в сверхпроводящем кольце во втором витке индуктируется э. д. с., создающая на выходе импульс напряжения того или иного знака. Таким образом, происходит считывание записанной информации. Так как считывание, очевидно, сопровождается стиранием информации, то, если последняя должна быть сохранена, импульсы считывания нужно использовать для восстановления (регенерации) хранившейся информации.

Экспериментальные образцы таких элементов работали со временем переключения порядка 0,1 *мксек.* В криогенных элементах других конструкций достигнуто время переключения до 0,01 *мксек.*

Недостаток криогенных элементов, основанных на эффекте сохранения тока, возбужденного в проводнике, заключается в том, что они не обладают свойством усиления тока. Поэтому сигналы, полученные от этих элементов при считывании информации, могут быть использованы для управления другими элементами лишь после предварительного усиления.

Несмотря на некоторые недостатки, различные типы криогенных элементов найдут, по-видимому, в будущем (благодаря своей экономичности и малым размерам) достаточно широкое применение в быстродействующих ЗУ большой емкости.

30. ПАРАМЕТРОНЫ

Параметронами называют бистабильные элементы, основанные на параметрическом возбуждении или параметрическом резонансе. Эти элементы, предложенные впервые в Японии, применяются как для запоминания информации, так и для выполнения логических операций в цифровых вычислительных машинах.

Прежде чем описывать схемы и работу параметронов, рассмотрим общие принципы параметрического возбуждения электромагнитных колебаний. Для того чтобы поддерживать незатухающие колебания в любой колебательной системе, в частности в колебательном контуре, необходимо все время добавлять извне некоторое количество энергии для компенсации потерь в системе.

При возбуждении вынужденных колебаний в контуре с неизменными параметрами энергия вводится в него от источника переменного тока резонансной частоты (прямым путем).

Однако существует и другой, косвенный путь ввода энергии в колебательную систему — путем изменения одного или нескольких параметров этой системы. Для успешного возбуждения таких колебаний нужно воздействовать на «энергоемкие» параметры системы. В электромагнитном колебательном контуре такими параметрами служат емкость и индуктивность. Если периодически изменять один из параметров, то при соблюдении определенных условий амплитуда колебаний тока в контуре начнет нарастать, т. е. будет происходить процесс параметрического возбуждения электромагнитных колебаний.

Рассмотрим, как происходит этот процесс при периодическом изменении индуктивности контура (рис. 62). Обозначим индуктивность контура через L_0 и предположим, что ее можно увеличивать на ΔL, вдвигая в катушку ферритовый сердечник. Пусть в начальный момент t_0 в контуре протекает ток i_0. Введем в этот момент в катушку сердечник, отчего ее индуктивность возрастет на величину ΔL. Так как энергия магнитного поля катушки равна $Li^2/2$, то благодаря увеличению индуктивности она возрастет на величину

$$\frac{(L_0 + \Delta L)\, i_0^2}{2} - \frac{L_0 i_0^2}{2} = \frac{\Delta L i_0^2}{2}.$$

Этот прирост энергии поля происходит за счет энергии, затраченной на вдвигание сердечника.

Если предоставить далее контур самому себе, то ток начнет в нем убывать и энергия магнитного поля катушки станет переходить в энергию электрического поля конденсатора. Этот процесс закончится через четверть периода, в момент t_1, когда ток в контуре станет равным нулю. В этот момент выведем сердечник из катушки, причем ее индуктивность опять станет равной L_0. Для

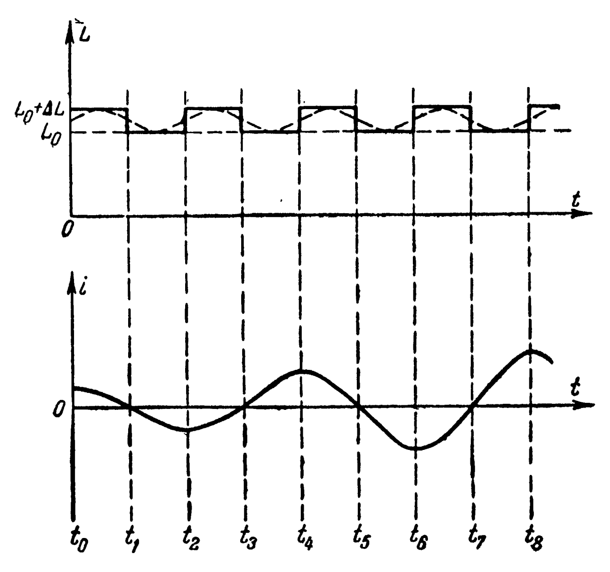


Рис. 62. Параметрическое возбуждение контура путем изменения его индуктивности.

выдвигания сердечника затраты энергии не требуется (если пренебречь механическим трением), так как ток и магнитное поле в этот момент отсутствуют.

Через четверть периода, в момент t_2, ток в контуре достигнет максимального значения i_2, и так как энергия в контуре в момент t_0 увеличилась, то, если пренебречь потерями, $i_2>i_0$. В этот момент опять введем сердечник, благодаря чему энергия в контуре снова возрастет на $\Delta L i_2^2/2$. В момент t_3 выведем сердечник и снова введем его в момент t_4, причем энергия в контуре возрастет на $\Delta L i_4^2/2$, и т. д.

Таким образом, если дополнительные порции энергии, сообщаемой контуру, превышают активные потери, то амплитуда колебаний в контуре будет нарастать. Процесс увеличения амплитуды прекратится, когда возрастающие потери в контуре станут равными вносимой в него дополнительной энергии.

Практически индуктивность изменяют не скачками (сплошная линия на рис. 62), а плавно (штриховая линия). Наиболее благоприятно соотношение частот изменения параметра (индуктивности или емкости) и собственных колебаний контура — 2 : 1. На практике параметры контура изменяются электрическими методами.

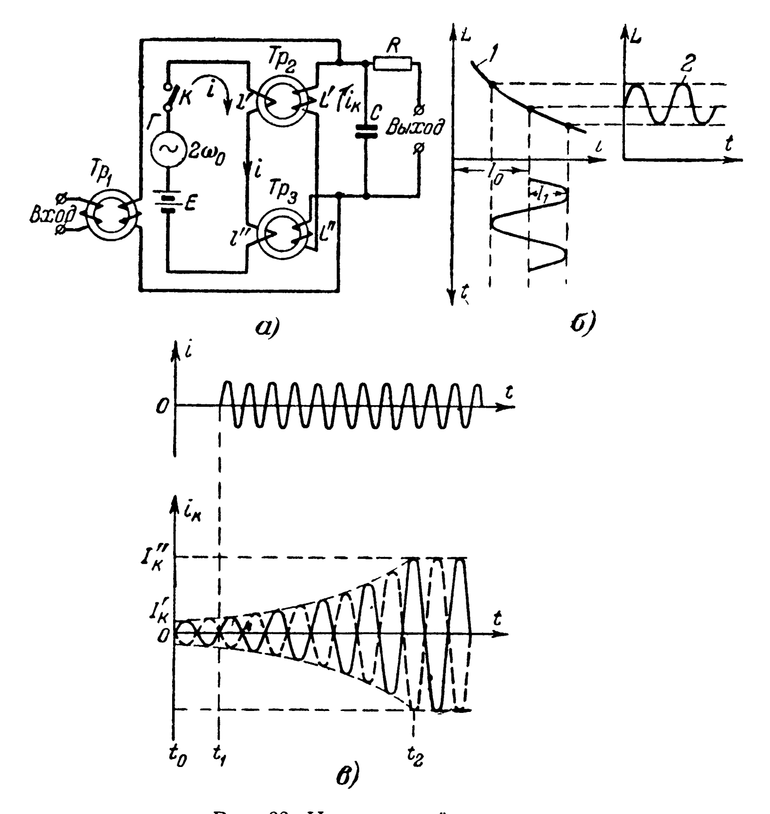


Рис. 63. Индуктивный параметрон.

а — схема включения; *б* — график процесса изменения индуктивности; *в* — график процесса параметрического возбуждения

Схема параметрона с переменной индуктивностью и графики происходящих в нем процессов показаны на рис. 63. Колебательный контур параметрона образован емкостью C и индуктивностью $L=L'+L''$, где L' и L'' — вторичные обмотки трансформаторов Tp_2 и Tp_3. Начальное возбуждение контура происходит при поступлении на вход колебаний с частотой ω_0, равной собственной частоте контура. Эти колебания поступают в контур через трансформатор Tp_1. Первичные обмотки l' и l'' трансформаторов Tp_2 и Tp_3 обра-

зуют цепь параметрического возбуждения, в которую включены источник постоянного смещения E и источник переменного тока $Г$ с частотой $2\omega_0$.

Процесс изменения индуктивности контура L иллюстрируется графиками на рис. 63,*б*, а процесс параметрического возбуждения параметрона — графиками на рис. 63,*в*. Колебания с частотой ω_0 возбуждают в контуре ток с амплитудой $I'_к$. Если в момент t_1 ключом K замкнуть цепь возбуждения, то индуктивность контура L начнет изменяться с частотой $2\omega_0$. Это приведет к параметрическо-

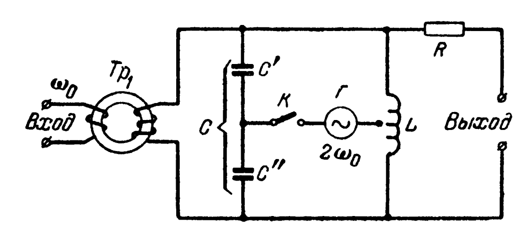


Рис. 64. Схема емкостного параметрона.

му возбуждению, и амплитуда тока будет нарастать по экспоненциальному закону, пока в некоторый момент t_2 процесс не прекратится вследствие того, что потери станут равны энергии, вносимой цепью параметрического возбуждения.

В дальнейшем в контуре независимо от наличия или отсутствия колебаний ω_0 на входе сохраняются колебания с амплитудой $I''_к$ до прекращения параметрического возбуждения.

Колебания в контуре параметрона, возникшие в результате параметрического возбуждения, могут иметь две фазы, отличающиеся друг от друга на π радиан (180°). Эти два взаимных режима колебаний показаны на рис. 63,*в** сплошной и штриховой линиями. Установление того или иного режима определяется фазой колебаний, подаваемых на вход параметрона. Приписывая одному режиму значение «1», а другому «0», можно записывать и хранить в параметроне информацию, закодированную в двоичной системе счисления. Для считывания и распознавания этой информации к выходу параметрона можно подключить фазочувствительный элемент.

Аналогичный принцип лежит и в основе работы емкостного параметрона (рис. 64). В его схеме емкость колебательного контура образуется двумя нелинейными конденсаторами C' и C''. Между средней точкой этих конденсаторов и средней точкой катушки приложено напряжение возбуждения, благодаря которому общая емкость контура $C=\frac{C'\cdot C''}{C'+C''}$ изменяется с частотой $2\omega_0$.

Соединяя параметроны между собой в различных комбинациях, на них можно строить статические и сдвигающие регистры, линии задержки, триггеры и различные логические схемы.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЕ ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ТРУБКАХ

31. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ НАКОПЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ТРУБКАХ

Накопители информации на электронно-лучевых трубках нашли в конце 40-х годов применение в качестве устройств оперативной памяти в электронных вычислительных машинах и в других установках, требующих большого быстродействия. Время обращения к электронно-лучевому ЗУ составляет единицы микросекунд и может быть доведено до долей микросекунды при произвольном доступе к любой ячейке. Емкость устройств этого типа колеблется от нескольких сотен до нескольких тысяч многоразрядных чисел.

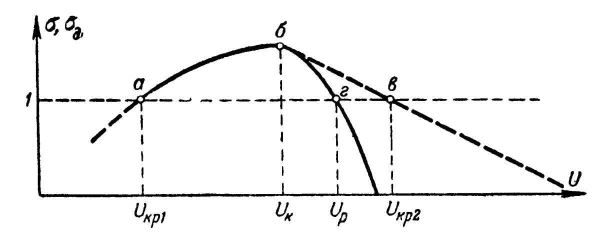


Рис. 65. Зависимость коэффициентов полной вторичной эмиссии (штриховая линия) и действующего коэффициента вторичной эмиссии (сплошная линия) от ускоряющего напряжения.

В основе действия почти всех разработанных к настоящему времени накопительных электронно-лучевых трубок лежит образование потенциального рельефа на диэлектрических экранах благодаря явлению вторичной электронной эмиссии.

При достаточно интенсивной бомбардировке электронами некоторой мишени из нее выбиваются вторичные электроны, создающие ток вторичной электронной эмиссии. Отношение количества вторичных электронов, выбиваемых из мишени за 1 *сек*, к количеству первичных электронов, попадающих на мишень за 1 *сек*, или, другими словами, отношение полного тока вторичной эмиссии I_2 к первичному току I_1 носит название коэффициента полной вторичной электронной эмиссии $\sigma = I_2/I_1$.

На рис. 65 штриховой линией изображена кривая зависимости σ от ускоряющего первичные электроны потенциала U, например потенциала мишени. При очень малом ускоряющем потенциале вторичная эмиссия будет также очень мала и коэффициент σ будет близок к нулю. По мере роста ускоряющего потенциала, а следовательно, и энергии бомбардирующих мишень электронов ток вторичной эмиссии растет и в конце концов достигает величины первич-

ного тока ($I_2=I_1$; $\sigma=1$) при некотором значении ускоряющего потенциала, которое называют первым критическим потенциалом $U_{кр1}$ (точка *а*). При дальнейшем увеличении ускоряющего потенциала коэффициент σ продолжает расти, однако, пройдя через некоторый максимум (точка *б*), начинает падать, и в пределе, снова пройдя при критическом потенциале $U_{кр2}$ (точка *в*) значение $\sigma=1$, стремится к нулю. Объясняется это тем, что при очень больших энергиях бомбардирующих электронов они проникают настолько глубоко в толщу материала мишени, что выход вторичных электронов, получивших от них энергию, оказывается весьма затрудненным.

Если на некотором расстоянии от мишени поместить коллектор (электрод, на который подан положительный потенциал), то эмиттируемые мишенью вторичные электроны будут притягиваться коллектором и создадут в его цепи ток $I_к$. Однако поле между мишенью и коллектором не всегда достаточно для отбора всех вторичных электронов, и часть их может возвращаться обратно на мишень.

Следовательно, при определенных обстоятельствах $I_к<I_2$. В связи с этим введено понятие действующего коэффициента вторичной электронной эмиссии $\sigma_д=I_к/I_1$.

Зависимость $\sigma_д$ от потенциала мишени U при некотором постоянном значении напряжения на коллекторе $U_к$ показана на рис. 65 сплошной линией. Пока потенциал мишени ниже потенциала коллектора, все выбитые из мишени вторичные электроны притягиваются коллектором, следовательно, $I_к=I_2$ и кривые σ и $\sigma_д$ совпадают. Однако по мере увеличения потенциала мишени при $U>U_к$ все большее количество вторичных электронов возвращается на мишень, и в конце концов ток коллектора становится равным нулю.

При этом $\sigma_д$ проходит через значение, равное 1, обозначенное на графике точкой *г*. Эта точка соответствует устойчивому равновесному потенциалу мишени $U_р$. В самом деле, если потенциал мишени $U<U_р$, то $\sigma_д>1$, т. е. $I_к>I_1$. Это значит, что с мишени уходит больше электронов, чем попадает на нее, а следовательно, потенциал мишени растет.

Если же $U>U_р$, то, как видно из кривой, $\sigma_д<1$ и $I_к<I_1$. Следовательно, на мишень попадает больше электронов, чем уходит с нее, и, значит, потенциал мишени уменьшается.

Таким образом, при определенном режиме работы электронно-лучевой трубки и напряжении на ее коллекторе $U_к$ электронный луч, попадая в какую-нибудь точку диэлектрического экрана, будет создавать в этой точке некоторый равновесный потенциал $U_р$.

Направляя при помощи отклоняющей системы луч в нужные точки экрана, соответствующие определенным ячейкам ЗУ, можно записать на диэлектрическом экране трубки в виде потенциального рельефа нужную информацию. Емкость ЗУ на электронно-лучевых трубках зависит от того количества элементарных заряженных участков, которые можно создать на экране, не опасаясь потери информации из-за слишком быстрого растекания зарядов и взаимного влияния элементов друг на друга вследствие как бы «забрызгивания» соседних элементов при многократном обращении электронным лучом к одному из них.

Считывается информация также электронным лучом. При движении луча по экрану на металлической сигнальной пластине, рас-

положенной за экраном, возникают импульсы, амплитуда и полярность которых зависит от записанной на экране информации.

Основные типы запоминающих трубок, применяемых для хранения закодированной в виде двоичных чисел информации, следующие:

а) трубки с барьерной сеткой;
б) трубки с поверхностным перераспределением зарядов;
в) трубки типа «селектрон» с поддерживающим лучом.

32. ЗАПОМИНАЮЩАЯ ТРУБКА С БАРЬЕРНОЙ СЕТКОЙ

Так как вторичные электроны, выбиваемые из мишени (экрана), не полностью собираются коллектором, то, возвращаясь на экран, они искажают образовавшийся на нем потенциальный рельеф и, таким образом, нарушают записанную на экране информацию. В качестве одной из мер для устранения этого явления перед экраном устанавливают густую сетку для улавливания вторичных электронов, которая получила название задерживающей или барьерной сетки и потенциалом которой определяется установившийся или равновесный потенциал диэлектрического экрана.

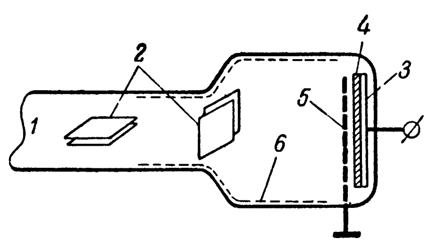


Рис. 66. Схематическое устройство потенциалоскопа с барьерной сеткой.

1 — электронный прожектор; *2* — отклоняющие пластины; *3* — сигнальная пластина; *4* — диэлектрический экран; *5* — барьерная сетка; *6* — коллектор.

Устройство запоминающей электронно-лучевой трубки или потенциалоскопа с барьерной сеткой показано схематически на рис. 66. Основные части потенциалоскопа следующие: электронный прожектор, отклоняющая и накопительная системы.

Электронный прожектор, как и в обычных электронно-лучевых трубках, включает катод, управляющий электрод и ряд анодов. Электронный прожектор предназначен для создания потока электронов нужной интенсивности и для их ускорения и фокусировки в узкий направленный пучок (электронный луч).

Отклоняющая система потенциалоскопа состоит из двух расположенных перпендикулярно друг к другу пар параллельных пластин. Эти пластины создают электрические поля, отклоняющие проходящий между ними электронный луч так, чтобы направить его в заданную ячейку — точку на диэлектрическом экране.

К накопительной системе, служащей для записи, хранения и считывания информации, относятся сигнальная пластина с диэлектрическим экраном, барьерная сетка и коллектор. В одном из конкретных типов потенциалоскопов — потенциалоскопе отечественного производства ЛН-1 — сигнальная пластина сделана из алюминия, на который нанесен слой окиси алюминия, выполняющий назначение диэлектрического экрана или мишени — потенциалоносителя. На расстоянии 0,2 *мм* от экрана расположена тонкая мелкоструктурная

барьерная сетка. Коллектором служит кольцевое проводящее аквадаговое покрытие внутренней поверхности стеклянной колбы.

Для записи информации в какой-либо точке экрана в эту точку направляют электронный луч и одновременно подают на сигнальную пластину положительный потенциал при записи «1» и отрицательный потенциал при записи «0».

В первом случае в выбранной точке экрана происходит накопление электронов, т. е. записи кода «1» соответствует появление на данном элементе потенциалоносителя отрицательного заряда.

Во втором случае вследствие вторичной электронной эмиссии и отталкивания электронов отрицательным потенциалом сигнальной пластины в данной точке экрана возникает недостаток электронов, т. е. записи кода «0» соответствует появление на элементе поверхности экрана положительного заряда.

Таким образом, на потенциалоносителе возникает потенциальный рельеф, соответствующий записанной информации. Вследствие электростатической индукции на сигнальной пластине, представляющей собой как бы вторую обкладку конденсатора, возникают обратные по знаку заряды, связанные с зарядами на потенциалоносителе.

Для считывания записанной информации на сигнальную пластину подается нулевой потенциал (за условный нуль принят потенциал барьерной сетки) и в нужную точку экрана вновь направляется электронный луч. При этом потенциал избранного элемента приводится к потенциалу барьерной сетки (т. е. к условному нулю), и связанный с ним заряд на сигнальной пластине освобождается, создавая импульс считывания: положительный при считывании «1» и отрицательный при считывании «0».

При считывании информации, как уже сказано, потенциал соответственных точек экрана приводится к нулевому потенциалу барьерной сетки, т. е. считывание сопровождается стиранием информации. Поэтому для сохранения информации нужно использовать импульсы считывания для ее регенерации или перезаписи.

Необходимость периодического восстановления записанной информации существует также и при отсутствии ее считывания, чтобы избежать разрушения потенциального рельефа вследствие паразитных электронов и растекания зарядов по диэлектрику.

Работающий по описанному принципу первый советский потенциалоскоп ЛН-1 характеризуется следующими данными: диаметр трубки 170 *мм*, длина — 400 *мм*, емкость — 1 024 дв. ед., надежность 400—500. Здесь под надежностью понимается количество допустимых обращений к какому-либо элементу экрана без нарушения записи в соседних элементах.

Позднее выпущена более совершенная трубка ЛН-4, которая при тех же размерах обладает емкостью 2 048 дв. ед. при надежности около 850.

На трубках ЛН-1 было выполнено оперативное ЗУ машины БЭСМ общей емкостью 1 024 39-разрядных числа со временем обращения около 15 *мксек*. В начале 1957 г. это ЗУ заменено более надежным на ферритовых сердечниках с непосредственной выборкой.

Каждая трубка в ЗУ на потенциалоскопах предназначается для хранения одного разряда всех чисел.

При записи и считывании электронные лучи во всех потенциалоскопах ЗУ должны одновременно направляться в одни и те же

точки экранов. Таким образом, обеспечиваются параллельная запись и считывание всех разрядов многоразрядного числа.

Для того чтобы луч при переходе из одной точки в другую «не размазывал» потенциальный рельеф и чтобы в нужных точках луч останавливался на время порядка нескольких микросекунд напряжение, необходимое для изменения заряда данного элемента, подаваемое на отклоняющие пластины, должно иметь не пилообразную форму, как в обычных осциллографических трубках, а ступенчатую. Кроме того, на все время движения луча он должен запираться (гаситься) подачей соответствующего отрицательного потенциала на управляющий электрод трубки.

При необходимости записывать или считывать в различных произвольно выбранных ячейках необходимо скачком изменять напряжения на отклоняющих пластинах на такую величину, чтобы луч точно попадал в заданную точку экрана. Это обусловливает требования к постоянству напряжений, питающих отклоняющую схему. Нестабильность этих напряжений допускается лишь порядка десятых долей процента, что усложняет и удорожает все устройство.

Основное достоинство ЗУ на электронно-лучевых трубках заключается в их быстродействии при возможности произвольной записи и выборки данных. Это обусловило широкое использование электронно-лучевых трубок в оперативной памяти вычислительных машин, выпускавшихся в начале 50-х годов. Сейчас в связи с разработкой ЗУ на ферритовых сердечниках, которые характеризуются временем обращения порядка 10 *мксек* и менее, они почти повсеместно заменили ЗУ на электронно-лучевых трубках, которые обладают следующими основными недостатками.

Емкость электронно-лучевых ЗУ ограничена несколькими тысячами чисел, причем устройство получается довольно громоздким. Они недостаточно надежны в эксплуатации и требуют относительно квалифицированного обслуживания. В процессе хранения информации требуется ее непрерывная регенерация; в случае даже кратковременных перерывов электропитания информация, хранившаяся в ЗУ, разрушается. Наконец, ЗУ на электронно-лучевых трубках сравнительно дороги как с точки зрения начальных затрат, так и в процессе эксплуатации, особенно учитывая относительную недолговечность трубок, имеющих срок службы порядка 1 000—2 000 *ч*.

Однако запоминающие электронно-лучевые трубки еще используются в некоторых электронных вычислительных машинах; они широко применяются в радиолокационных установках, в некоторых схемах для физических исследований и т. п.

Ниже мы рассмотрим еще две разновидности ЗУ на электронно-лучевых трубках, а именно на трубках с поверхностным перераспределением зарядов и на трубках типа «селектрон».

33. ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА ТРУБКАХ С ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЗАРЯДОВ

Работа этих трубок также основана на явлении вторичной электронной эмиссии с диэлектрического экрана, обеспечивающей возникновение на нем потенциального рельефа, соответствующего записываемой информации.

Процесс образования потенциального рельефа наглядно поясняется на рис. 67. При бомбардировке экрана первичными электро-

нами возникает вторичная электронная эмиссия с $\sigma_д > 1$. Это приводит к обеднению данного участка электронами или образованию так называемой потенциальной впадины, в которой недостает электронов и, следовательно, имеется более высокий, чем в окружающих точках, потенциал E_0. Углубление потенциальной впадины продолжается до тех пор, пока потенциал облучаемого элемента не достигнет величины $U_р$, соответствующей точке *г* (рис. 65). После этого устанавливается динамическое равновесие, при котором действую-

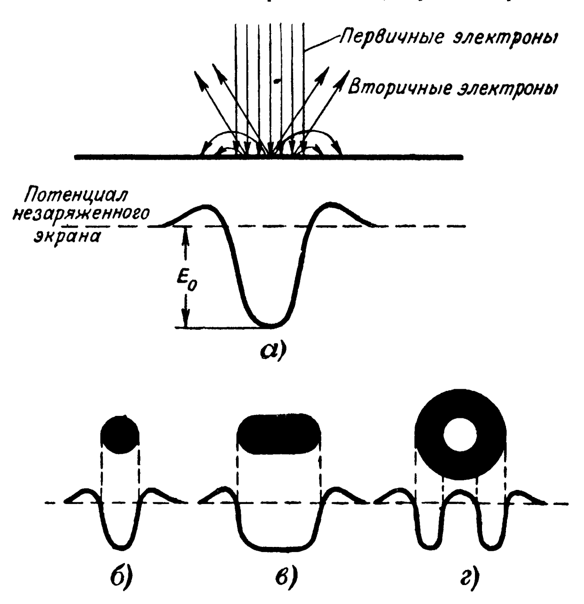


Рис. 67. Потенциальный рельеф и «рисунки» записи на экране.

а — образование потенциального рельефа; *б*, *в* и *г* — «рисунки» записи и потенциальные рельефы, соответственно точки, черточки и кольца.

щий коэффициент вторичной электронной эмиссии $\sigma_д = 1$. Возникающие в процессе образования потенциальной впадины избыточные электроны в основной своей массе улавливаются коллектором. Однако некоторое количество их падает по краям бомбардируемого пятна, образуя вокруг потенциальной впадины своего рода отрицательный барьер.

После прекращения облучения данного участка экрана вследствие его неидеальных изоляционных свойств начинается растекание зарядов по поверхности, что может привести к разрушению записанной информации, если ее своевременно не регенерировать. Период регенерации должен быть меньше времени, в течении которого происходит заметное растекание зарядов. Это время для стандартных трубок составляет около 0,2 *сек*.

В отличие от описанных ранее запоминающих трубок, в которых для различения записи «0» и «1» использовалась разница потенциальных уровней элементов экрана, в трубках с поверхностным перераспределением зарядов луч образует на экране «пятна» одного и того же потенциала, но различного «рисунка» или конфигурации, зависящей от записываемого кода. Так, например, записи «0» на экране могут соответствовать «рисунок» и потенциальный рельеф, имеющий форму точки (рис. 67,*б*), а записи «1» — имеющий форму черточки (рис. 67,*в*) или кольца (рис. 67,*г*).

Так как размеры поверхности, занятой зарядами, оказываются при этом различными, то и количество электричества, накапливаемое на элементарных участках экрана, будет также различно, а следовательно, и сигналы считывания, являющиеся разрядными токами образующихся при записи элементарных конденсаторов, будут также отличаться друг от друга.

Для того чтобы получить при записи на экране ту или иную форму пятна, на отклоняющие пластины наряду с постоянными напряжениями, определяющими выбор требуемой ячейки, подают ещё переменное напряжение, заставляющее луч колебаться и вырисовывать нужную фигуру. Для записи «0», т. е. для получения на экране точки, луч должен оставаться неподвижным и, значит, никакого переменного напряжения подавать не надо. Для записи «1» в виде горизонтальной черточки нужно подать переменное напряжение на пластины, отклоняющие луч по горизонтали, а для записи «1» в виде кольца — два одинаковых по амплитуде и сдвинутых одно относительно другого по фазе на 90° переменных напряжения на обе пары взаимно-перпендикулярных пластин.

На описанном принципе поверхностного перераспределения зарядов была основана работа ЗУ на электронно-лучевых трубках отечественной быстродействующей вычислительной машины М-2 (в 1956 г. оно было заменено ЗУ на ферритовых сердечниках). В оперативном ЗУ машины М-2 использовались осциллографические трубки 13Л037 с 512-ю запоминающими элементами каждая и с надежностью, равной 170.

Упрощенная блок-схема этого ЗУ приведена на рис. 68. Каждая трубка предназначается для хранения одного разряда всех чисел. Таким образом, ЗУ машины М-2, оперирующей с 34-разрядными двоичными числами, собрано на 34 трубках и имеет общую емкость 512 34-разрядных чисел. Считывание, запись и регенерация всех разрядов числа происходят одновременно, т. е. ЗУ работает по принципу параллельного действия.

В каждом разряде ЗУ, помимо трубки, имеются усилитель и блок регенерации. Блоки управления — блок разверток и блок селекторных импульсов — общие для всех разрядов ЗУ.

Назначение и взаимодействие всех блоков, изображенных на рис. 68, следующие.

Блок селекторных импульсов в соответствии с поступающими в него от программного датчика командами и тактовыми импульсами управляет работой блоков разверток и регенерации в режимах записи, считывания и регенерации, а также выдает импульсы гашения электронного луча на время его перемещения от ячейки к ячейке по экрану трубки.

В блоке регенерации расшифровываются сигналы считывания, поступающие через усилитель от сигнальной пластины, и в соот-

ветствии с командами, полученными от блока селекторных импульсов, происходит считывание или регенерация информации. В режиме регенерации луч последовательными скачками обходит все элементы экрана, и считываемые при этом сигналы используются для выработки блоком регенерации колебаний частотой 2 *Мгц* и амплиту-

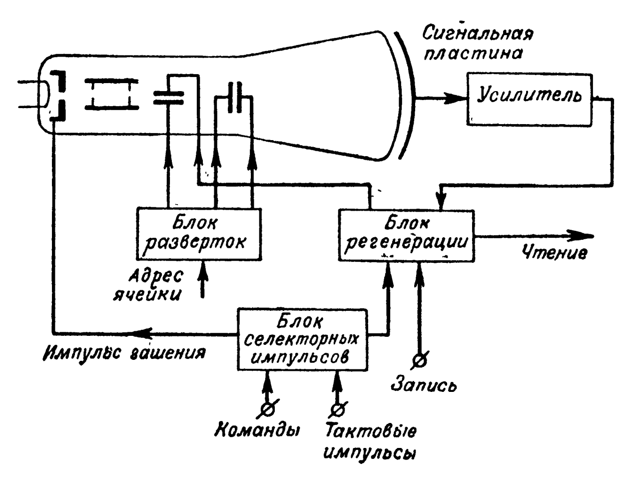


Рис. 68. Упрощенная блок-схема оперативного запоминающего устройства машины М-2.

дой около 5—6 *в*, которые подновляют имеющийся на экране потенциальный рельеф.

Таким же путем через блок регенерации записывается и новая информация.

Описанные принципы построения блок-схемы ЗУ на трубках с поверхностным перераспределением зарядов в значительной степени применимы к построению схем ЗУ и на других типах запоминающих электронно-лучевых трубок.

34. ЗАПОМИНАЮЩАЯ ТРУБКА «СЕЛЕКТРОН»

В запоминающей трубке «селектрон» используется тот же принцип накопления зарядов на диэлектрике, что и в описанных трубках. Однако конструкция селектрона значительно отличается от конструкции других трубок. Электроды расположены в нем концентрически. Катод окружен ускоряющей сеткой, сквозь которую электроны проходят по направлению к двум рядам взаимно-перпендикулярных селектирующих пластин. За селектирующими пластинами расположены коллекторная сетка и диэлектрический слюдяной экран, укрепленный на металлической сигнальной пластине.

Электроны движутся к экрану не в виде узкого электронного луча, который при помощи отклоняющей системы направляется на то или иное место экрана, а в виде широкого потока, облучающего всю поверхность селектирующих пластин.

Принцип выбора ячейки на экране по заданному адресу заключается в следующем.

Если на селектирующие пластины (рис. 69) подано отрицательное смещение, то оно препятствует прохождению электронов к экрану. Для того чтобы избрать требуемую ячейку, нужно подать положительный импульс на четыре селектирующие пластины — две соседние вертикальные и две соседние горизонтальные. Тогда электроны будут проникать на элементарный участок экрана, ограниченный со всех сторон пластинами, на которых имеется положительный потенциал. Этот участок на рисунке заштрихован. Четыре соседних участка, помеченные точками, хотя и ограничены в трех сторон пластинами с положительным потенциалом, остаются все же закрытыми для электронов.

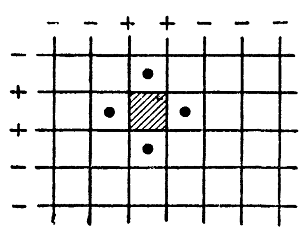


Рис. 69. Принцип выбора запоминающей ячейки в селектроне.

Информация записывается по заданному адресу путем подачи того или иного напряжения на сигнальную пластину с одновременным открытием нужной ячейки подачей положительных импульсов на соответствующие селектирующие шины. При этом на избранном элементе создается потенциал, зависящий от напряжения, подававшегося при записи на сигнальную пластину. Для считывания записанного кода также надо открыть заданную ячейку и использовать импульсы тока в цепи сигнальной пластины для определения, какой потенциал имелся на данном элементе.

Для того чтобы избежать необходимости делать из трубки очень большое количество выводов от каждой из селектирующих пластин, они определенным образом группируются. Это позволяет резко сократить количество выводных проводов. Оказывается, что при рациональной их группировке для управления M запоминающими ячейками селектрона достаточно вывести из него N проводов, где $N=4\sqrt[4]{M}$. Так, к экспериментальному селектрону, содержавшему 4 096 ячеек, подводилось лишь 32 провода, управляющих выбором ячеек.

Для долговременного сохранения информации на экране селектрона без применения специальных схем регенерации можно использовать широкий поток медленных электронов, который облучает равномерно весь экран, поддерживая соответствующее состояние его отдельных элементов. При этом все ячейки в промежутки времени между последовательными обращениями к ЗУ должны находиться в открытом состоянии.

Метод сохранения информации при помощи поддерживающего луча используется не только в селектроне. Предложена, например, конструкция трубки с тремя электронными прожекторами, предназначенными для записи, поддержания и считывания информации. При испытании одной из экспериментальных трубок такого типа было произведено до 1 млн. считываний одной и той же записи без существенного ее изменения. Кроме того, наличие отдельных записывающего и считывающего лучей позволяет одновременно и

независимо друг от друга записывать и считывать информацию в различных ячейках.

В заключение следует отметить, что, несмотря на ряд перечисленных ранее недостатков электронно-лучевых трубок как запоминающих приборов, работа над усовершенствованием существующих и созданием новых типов запоминающих трубок продолжается, и в некоторых случаях они будут применяться и в будущем.

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЕ ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА КОНДЕНСАТОРАХ

35. ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА КОНДЕНСАТОРАХ

Естественным простейшим запоминающим элементом может служить обычный конденсатор. Если приписать разряженному состоянию конденсатора значение «0», а заряженному — значение «1», то из n конденсаторов можно составить регистр, пригодный для запоминания n-разрядного числа. Для различения записи кодов «0» и «1» можно также использовать заряд конденсатора напряжением положительной или отрицательной полярности, считая, что незаряженный конденсатор не хранит никакой информации.

Основные проблемы, требующие разрешения при создании электростатических ЗУ на обычных конденсаторах, заключаются в разработке достаточно удобных и надежных схем записи и считывания информации, а также в решении проблемы длительного хранения информации, связанного с ее постепенным разрушением из-за разряда конденсаторов за счет утечек.

На рис. 70 показана схема ячейки диодно-конденсаторного ЗУ. Основными его элементами служат конденсатор и два диода. К концам обмоток дифференциального трансформатора подведены равные

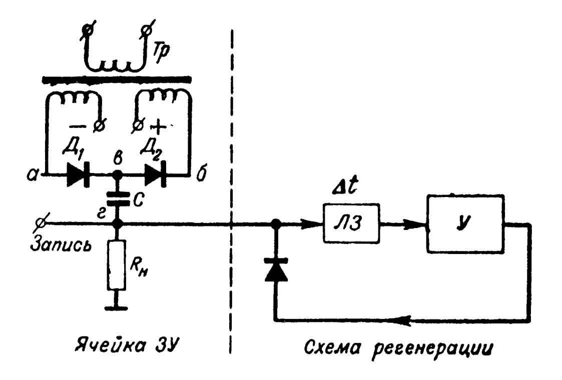


Рис. 70. Ячейка диодно-конденсаторного запоминающего устройства со схемой регенерации.

по абсолютной величине отрицательное и положительное напряжения смещения относительно земли. Этими напряжениями оба диода заперты, а потенциал средней точки *в* вследствие симметрии схемы равен нулю.

Процесс записи информации в ячейку ЗУ иллюстрируется временной диаграммой напряжений, приведенной на рис. 71. В момент t_1 на трансформатор подается импульс напряжения, обеспечивающий появление положительного потенциала в точке *а* и отрицательного в точке *б*. При этом оба диода отпираются, но потенциал точки *в* благодаря симметрии схемы остается равным нулю.

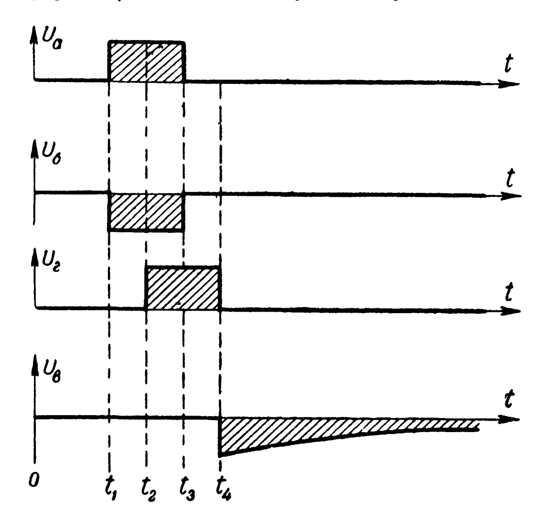


Рис. 71. Временная диаграмма записи информации.

В момент t_2 в точку *г* подается положительный импульс записи, заряжающий нижнюю пластину конденсатора до некоторого положительного потенциала относительно нулевого потенциала точки *в*.

В момент t_3 прекращается подача импульсов через трансформатор, отчего диоды снова запираются и точка *в* изолируется от земли.

В момент t_4, когда прекращается подача импульса записи, потенциал нижней обкладки конденсатора *С* относительно земли становится равным нулю. Но так как верхняя обкладка в этот момент изолирована от всей схемы, то заряд конденсатора не меняется и на верхней обкладке устанавливается отрицательный потенциал, равный амплитуде импульса записи.

Если затем не оказывать на схему никаких внешних воздействий, то вследствие утечки через диоды $Д_1$ и $Д_2$ напряжение на верхней обкладке конденсатора будет убывать по экспоненциальному закону с постоянной времени $\tau = CR_{обр}/2$, где *С* — емкость кон-

денсатора, а $R_{обр}$ — обратное сопротивление одного диода. Поэтому, чтобы сохранить информацию в течение сколь угодно длительного промежутка времени, необходима ее периодическая регенерация.

Для этой цели устройство дополняется схемой регенерации, показанной на рис. 70 и включающей линию задержки, усилитель и вентиль. Для регенерации нужно подавать в обмотку трансформатора периодическую последовательность импульсов.

Временна́я диаграмма, характеризующая процессы регенерации, изображена на рис. 72. Предположим, что в результате полученной

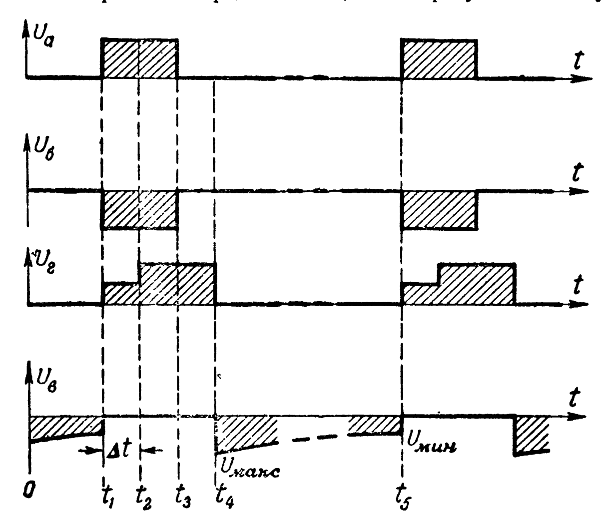


Рис. 72. Временна́я диаграмма регенерации информации.

ранее записи на верхней обкладке конденсатора имеется некоторый отрицательный потенциал, а оба диода ячейки заперты. Поданный в момент t_1 импульс отопрет диоды, и конденсатор начнет разряжаться по цепи, включающей соединенные в параллель оба диода, обе обмотки трансформатора и источники питания и далее — землю и сопротивление $R_н$. Импульс разрядного тока создает падение напряжения на сопротивлении $R_н$, а в точке *г* возникает импульс положительного напряжения, который через линию задержки на время Δt подается на вход усилителя. После усиления в точку *г* поступает импульс того же знака, но большей амплитуды, в результате чего потенциал точки *г* в момент времени $t_2 = t_1 + \Delta t$ возрастает.

В момент t_3 импульсы, поступающие в схему из трансформатора, прекращаются, и точка *в* оказывается изолированной от земли. Наконец, в момент t_4, когда прекращается импульс, поступающий от усилителя, верхняя пластина вновь приобретает отрицательный потенциал, значительно больший, чем до момента t_1. Далее опять

начинается разряд конденсатора по экспоненциальному закону через запертые вентили, продолжающийся до момента t_5, когда в схему через трансформатор поступают следующие тактовые импульсы и начинается очередной цикл регенерации.

Информация считывается путем параллельного отбора импульсов с любого из участков цепи регенерации.

На описанном принципе можно создать достаточно простые диодно-конденсаторные ЗУ емкостью в несколько тысяч чисел при условии применения специальных диодов с большим отношением обратного и прямого сопротивлений. По скорости работы диодно-конденсаторные ЗУ могут успешно конкурировать с ЗУ на электронно-лучевых трубках и на ферритовых сердечниках. Достоинства описанного ЗУ состоят в его большой механической прочности и вибростойкости, а также в возможности использования компактного печатного монтажа при его конструировании.

Как недостатки устройства, следует отметить применение большого количества диодов (по два диода на каждую двоичную единицу емкости), что приводит к снижению надежности, а также необходимость регенерации информации. Впрочем, ЗУ, предназначенные для кратковременного хранения информации, можно построить по очень простой схеме, не предусматривающей регенерации.

36. ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА БИСТАБИЛЬНЫХ КОНДЕНСАТОРАХ С ФЕРРОЭЛЕКТРИКОМ

Интересные перспективы для создания малогабаритных ЗУ большой емкости сулит применение бистабильных конденсаторов, в которых вместо обычных диэлектриков используются так называемые сегнетоэлектрики или ферроэлектрики.

Сегнетоэлектриками называют материалы, обладающие диэлектрической поляризацией без внешних электрических воздействий. Этим они отличаются от обычных диэлектриков, поляризованное состояние которых возникает и может сохраняться лишь под влиянием внешнего электрического поля, после прекращения действия которого поляризация быстро исчезает.

Сегнетоэлектрики представляют собой кристаллические или поликристаллические вещества, особые свойства которых были обнаружены впервые у сегнетовой соли.

Так как диэлектрические свойства этой группы материалов в значительной степени напоминают магнитные свойства ферромагнитных материалов, то в технической литературе сегнетоэлектрики очень часто называют ферроэлектриками. В дальнейшем мы также будем пользоваться этим названием.

Наиболее распространенный в настоящее время ферроэлектрик — титанат бария. Для использования в ЗУ необходим монокристаллический титанат бария, свойства которого характеризуются зависимостью диэлектрического смещения D от напряженности электрического поля E, имеющей форму, близкую к прямоугольной, как это было для зависимости магнитной индукции от напряженности магнитного поля рассматривавшихся ранее ферритов с прямоугольной петлей гистерезиса (рис. 19).

Такие свойства ферроэлектриков позволяют создавать бистабильные конденсаторы, т. е. конденсаторы, сохраняющие одно из двух устойчивых состояний после прекращения действия внешнего

поля и даже в условиях короткого замыкания или относительно слабого поля противоположного направления.

В экспериментальных образцах конденсаторов с ферроэлектриком использовались пластинки титаната бария толщиной около 0,1 *мм* и площадью около 1 *мм*², покрытые с обеих сторон металлическими обкладками. Полученные таким путем конденсаторы имели емкость порядка 100 *пф*.

Принципиальная схема включения ферроэлектрического конденсатора как элемента ЗУ приведена на рис. 73. Запоминающая ячейка состоит из двух последовательно включенных конденсаторов: запоминающего — $C_з$ с ферроэлектриком и обычного — C, параллельно которому включено сопротивление R.

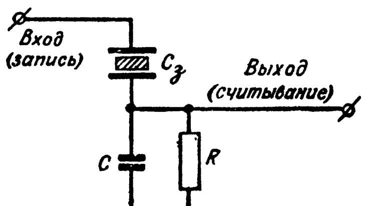


Рис. 73. Принципиальная схема запоминающей ячейки на бистабильном конденсаторе с ферроэлектриком.

Подавая на вход ячейки импульсы записи с достаточной амплитудой, можно переводить бистабильный конденсатор $C_з$ из одного устойчивого состояния в другое, приписывая одному из них значение «0», а другому «1». Такова физическая основа запоминания информации, которая затем благодаря гистерезисным свойствам ферроэлектрика сохраняется сколь угодно длительное время без регенерации.

Считывание информации происходит путем подачи на вход импульса, совпадающего по направлению с импульсом записи нуля. При этом, если на запоминающем конденсаторе был ранее записан нуль, то состояние его не изменится и на выходе не будет появляться никакого сигнала. Если же запоминающий конденсатор находился в состоянии, соответствующем записи единицы, то поляризация его изменится, через включенный в схему обычный конденсатор C пройдет импульс тока смещения, который и создаст на сопротивлении R, а следовательно, на выходе сигнал считывания «1».

На ферроэлектрических конденсаторах, как и на ферритовых сердечниках, могут быть созданы матричные ЗУ большой емкости. Бистабильные конденсаторы подключаются в узлах матрицы одной обкладкой к горизонтальной и другой обкладкой — к вертикальной пересекающимся шинам и работают на принципе совпадения импульсов напряжений на этих шинах.

Основные достоинства ЗУ на ферроэлектриках состоят в их экономичности (для управления запоминающими элементами требуется мощность порядка сотых долей ватта на 1 дв. ед.); быстродействии, допускающем использование управляющих импульсов длительностью около 1 *мксек*; исключительно малых габаритах. При использовании достаточно тонких, порядка 0,1 *мм*, кристаллов на пластинке площадью 1 *см*² можно записать около 2 000 дв. ед. информации. Важно также, что для изменения поляризации ферроэлектриков можно применять очень низкие напряжения (менее 10 *в*), что позволяет использовать ферроэлектрические ЗУ в сочетании с управляющими схемами, выполненными на транзисторах.

Однако до настоящего времени ферроэлектрические ЗУ не получили практического применения в связи с серьезными технологическими трудностями выращивания достаточно тонких и однородных по всему объему монокристаллов титаната бария.

Среди новых ферроэлектрических материалов, пригодных для использования в ЗУ, представляет интерес сульфат триглицина, имеющий достаточно низкую коэрцитивную напряженность электрического поля порядка нескольких десятков вольт на 1 *мм*. Технология выращивания кристаллов сульфата триглицина значительно проще, чем кристаллов титаната бария. Однако этот ферроэлектрик может работать в значительно меньшем диапазоне температур, чем титанат бария.

Очевидно, если в дальнейшем удастся успешно освоить технологию производства титаната бария или других вновь созданных ферроэлектриков с хорошими запоминающими свойствами, то ферроэлектрические ЗУ найдут применение благодаря своим малым размерам, экономичности, быстродействию и надежности.

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

ДИНАМИЧЕСКИЕ ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА ЛИНИЯХ ЗАДЕРЖКИ

37. ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА ЛИНИЯХ ЗАДЕРЖКИ

В отличие от рассмотренных статических ЗУ, в которых информация в течение всего времени хранения остается неподвижной относительно носителя, в динамических ЗУ информация непрерывно циркулирует в некотором замкнутом контуре. На рис. 74 приведен принцип построения динамического или, как его еще называют, рециркуляционного ЗУ на линии задержки.

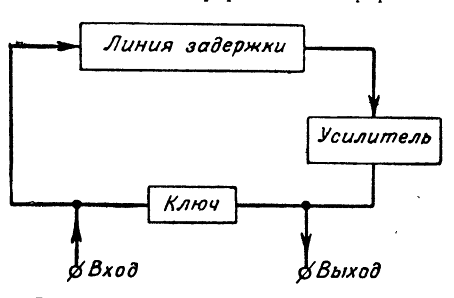


Рис. 74. Упрощенная блок-схема динамического запоминающего устройства на линии задержки.

Информация, закодированная в виде электрических импульсов, поступает на вход схемы, проходит по линии задержки, в которой, помимо запаздывания во времени, происходит затухание амплитуды импульсов, усиливается усилителем, компенсирующим затухание в линии задержки, проходит ключ, вновь поступает в линию задержки и т. д. Выборка информации может осуществляться каждый раз, когда кодовые импульсы соответствующего числа появляются на выходе усилителя и, следовательно, могут быть считаны на зажиме «выход» системы.

Для стирания всей хранящейся в ЗУ информации достаточно на время, равное или большее времени распространения колебаний по линии задержки, разорвать ключом цепь циркуляции.

Емкость ЗУ рециркуляционного типа определяется тем количеством импульсов N, которое может одновременно размещаться вдоль линии задержки и которое, очевидно, зависит от частоты следования импульсов f и времени распространения их вдоль линии задержки. Эта зависимость имеет вид $N=f\tau_з$, где $\tau_з$ в свою очередь определяется длиной линии задержки l и скоростью распространения в ней v. Так как $\tau_з=l/v$, то

$$N = f\tau_з = \frac{fl}{v}.$$

Из этого выражения следует, что увеличения емкости ЗУ на линии задержки можно добиться повышением частоты следования кодовых импульсов, увеличением длины линии задержки или уменьшением скорости распространения в ней импульсов. Однако частота кодовых импульсов определяется в большинстве случаев не только оптимальными условиями хранения информации, но и условиями работы других устройств, работающих совместно с динамическим ЗУ. Например, в электронных вычислительных машинах эта частота зависит от типа и быстродействия арифметического устройства и других факторов; в радиолокационных системах — от частоты следования локационных импульсов и т. п. Применение линий задержки большой длины неприемлемо, так как при этом ЗУ получается очень громоздким. Таким образом, оказывается, что наиболее рациональный способ создания динамических ЗУ достаточно большой емкости — использование в них линий задержки, характеризующихся малой скоростью распространения импульсов.

Изготовление линий задержки с относительно малой скоростью распространения электрических импульсов представляет значительные трудности. Поэтому наибольшее распространение в достаточно емких динамических ЗУ получили ультразвуковые линии задержки, по которым распространяются со сравнительно небольшой скоростью механические колебания. Эти колебания получают путем преобразования из электрических импульсов чаще всего при помощи кварцевого пьезопреобразователя, устанавливаемого в начале линии. В конце линии устанавливается второй кварцевый пьезопреобразователь, выполняющий обратную функцию преобразования механических колебаний в электрические импульсы.

В качестве материала проводника механических колебаний в ультразвуковых линиях задержки можно применить различные твердые и жидкие вещества, характеризующиеся следующими основными показателями:

1) скорость распространения ультразвука;
2) затухание энергии при распространении;
3) зависимость скорости распространения от температуры.

Наибольшее распространение в динамических ЗУ для изготовления ультразвуковых линий задержки получили ртуть, плавленый кварц или кварцевое стекло, магниевые сплавы и проволока из никелевых сплавов.

Динамические ЗУ небольшой емкости строятся также и на электромагнитных линиях задержки — волноводных, из коаксиального кабеля, из ячеек RC, LC и др.

38. ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ЛИНИЯХ ЗАДЕРЖКИ

ЗУ на ртутных линиях задержки. В первых электронных вычислительных машинах получили распространение ЗУ на ртутных линиях задержки.

Конструктивно ртутная линия задержки (рис. 75) представляет собой металлическую (чаще всего стальную) трубку длиной 30—

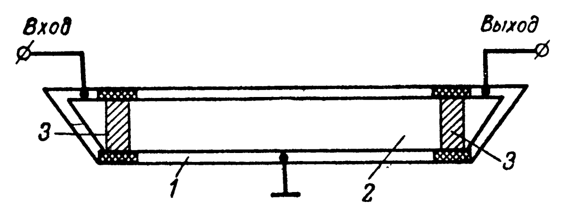


Рис. 75. Схематическая конструкция ртутной линии задержки.

1 — стальная трубка; *2* — ртуть; *3* — кварцевые пьезопреобразователи.

100 *см* и диаметром 1—2 *см*, заполненную очищенной ртутью. На концах линии в специальной арматуре вмонтированы кварцевые пьезообразователи так, что пластины кварца с обеих сторон соприкасаются с ртутью, выполняющей функцию обкладок пьезоэлемента. Для устранения возможности многократных отражений колебаний в ртути задние стенки оконечных камер трубки скошены под углом 45°.

Если учесть, что скорость распространения колебаний в ртути $v = 1\,440$ *м/сек*, то, например, при длине трубки $l = 72$ *см* и частоте повторения импульсов $f = 1$ *Мгц*, в линии задержки по длине одновременно разместится $N = \frac{fl}{v} = \frac{10^6 \cdot 72}{1440 \cdot 10^2} = 500$ импульсов. Таким образом, в ЗУ на этой линии можно хранить 500 дв. ед. или, другими словами, двадцать 25-разрядных двоичных чисел.

На рис. 76 изображена блок-схема ЗУ на линии задержки. Кроме самой линии, в нее входят усилитель *У*, детектор *Д*, ряд ключей *К* и генератор высокой частоты *Г*.

Усилитель рассчитывается так, чтобы скомпенсировать суммарное затухание, которое испытывают импульсы при циркуляции по замкнутому контуру. Это затухание складывается из потерь при детектировании, при преобразовании импульсов и при их распространении по линии задержки. Последнее составляет около 0,083 *дб/см*.

Чтобы форма импульсов хорошо сохранялась, они подводятся не непосредственно к пьезопреобразователю в начале линии задержки, а используются для модуляции колебаний высокой частоты, вырабатываемых генератором высокой частоты. Таким образом,

к входному преобразователю поступают импульсы высокой частоты. Несущая частота выбирается так, чтобы она совпадала с резонансной частотой кварцевых пластин преобразователей. Практически применяют несущие частоты от 5 до 30 *Мгц*. На выходе трубки вслед за пьезопреобразователем устанавливают детектор, в котором происходит демодуляция импульсов.

Электрические ключи, показанные на схеме, имеют следующее назначение. Ключ K_1, включенный в цепь входа, предназначен для

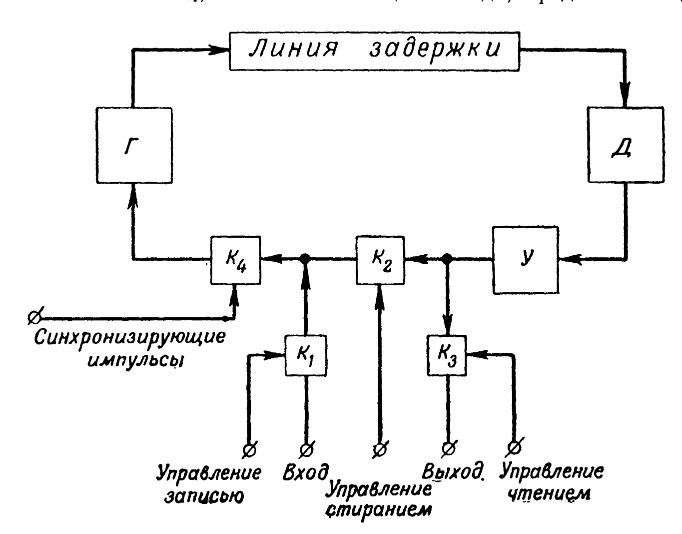


Рис. 76. Блок-схема динамического запоминающего устройства на линиях задержки.

управления записью информации. Он пропускает через себя импульсы поступающие на вход ЗУ, когда на ключ подается управляющее напряжение, разрешающее запись информации. Аналогично ключ K_3, включенный в цепь выхода, пропускает из ЗУ на выход импульсы, когда на ключ подано управляющее напряжение, разрешающее считывание информации.

Ключ K_2 предназначен для стирания информации; это достигается тем, что под влиянием напряжения, управляющего стиранием, в ключе K_2 прерывается цепь на время, когда через него должны проходить кодовые импульсы чисел, подлежащих стиранию.

Считывание нужного числа из динамического ЗУ может быть произведено не в любое время, а лишь в тот момент, когда код числа проходит мимо выхода схемы. Поэтому всякое считывание информации из динамического ЗУ связано с некоторым временем ожидания, которое в худшем случае может достигнуть полного времени (периода) рециркуляции $T=\tau_з=l/v$. Для рассматривавшейся нами ртутной линии длиной 72 *см* это время составит 0,5 *мсек*, а среднее время ожидания оказывается равным 0,25 *мсек*.

Для достижения точного соответствия времени отпирания тех или иных ключей моментам прохождения через них или мимо них

кодовых импульсов необходимых чисел требуется синхронная работа динамического ЗУ с другими связанными с ним устройствами. В частности, в электронных вычислительных устройствах необходима такая синхронизация с другими ЗУ, арифметическими устройствами и прочими блоками. Этой цели и служит ввод в динамическое ЗУ через ключ K_4 синхронизирующих или тактовых импульсов. Для получения синхронной работы необходимо также весьма точное регулирование температуры линии задержки, так как скорость распространения волн в ртути значительно изменяется с изменением ее температуры (температурный коэффициент скорости распространения колебаний в ртути составляет около $3 \cdot 10^{-4}$ на 1° С).

Для избежания возможных ошибок, связанных с изменениями внешней температуры, в некоторых ЗУ линии задержки помещают в автоматически регулируемый термостат. В других случаях применяется метод, заключающийся в автоматическом регулировании частоты основного генератора импульсов в соответствии с изменениями температуры линий задержки. Оба этих способа преследуют одну и ту же цель—добиться того, чтобы независимо от изменений температуры внешней среды в линии всегда помещалось одно и то же количество импульсов.

Новые ЗУ на ртутных линиях не строятся, и в современных установках чаще прибегают к ультразвуковым линиям задержки с твердой передающей средой и преобразователями пьезоэлектрического и магнитострикционного типа.

ЗУ на линиях задержки с пьезоэлектрическими преобразователями. Для изготовления линий задержки с твердым пьезоэлектрическим проводником механических ультразвуковых колебаний применяют плавленый кварц. По сравнению с ртутью он характеризуется значительно меньшим затуханием (около 0,007 *дб/см*) и более слабой зависимостью скорости распространения колебаний от температуры (температурный коэффициент скорости распространения колебаний равен около $1 \cdot 10^{-4}$ на 1° С).

Линия задержки из плавленого кварца (рис. 77) представляет собой стержень прямоугольной формы, к поверхности которого на концах приклеены кварцевые преобразователи. При подаче импульсов записи на вход линии они попадают на обкладки первого кварцевого преобразователя и преобразуются им в механические колебания. Эти колебания возбуждают в кварцевом стержне поперечную волну, распространяющуюся со скоростью около 5 450 *м/сек* к выходному концу, где второй пьезопреобразователь превращает механические колебания в электрические импульсы, поступающие на выход линии.

Как и в случае применения ртутных линий задержки, для ввода информации в твердую линию задержки используются модулированные кодовыми импульсами колебания несущей частоты, достигающей 30 *Мгц*. Блок-схема ЗУ на твердой линии задержки в принципе не отличается от блок-схемы ЗУ на ртутной линии (рис. 76).

Для уменьшения температурных влияний иногда помещают линии задержки в специальные термостаты. Так как температурный коэффициент скорости у плавленого кварца почти в 3 раза меньше чем у ртути, то при одинаковой заданной точности и одинаковой степени регулирования температуры в кварцевых линиях можно использовать импульсы с примерно в 3 раза большей частотой повто-

рения и, следовательно, при одинаковом времени задержки хранить в 3 раза большую информацию.

Запоминающие блоки на кварцевых ультразвуковых линиях задержки, работающие в одном из разработанных ЗУ, позволяют хранить до 1 100 дв. ед. информации при рабочей частоте импульсов 1 *Мгц* и времени задержки 1 100 *мксек*. Соответствующее регулирование температуры обеспечивает стабильность времени задержки с точностью до 0,1 *мксек*.

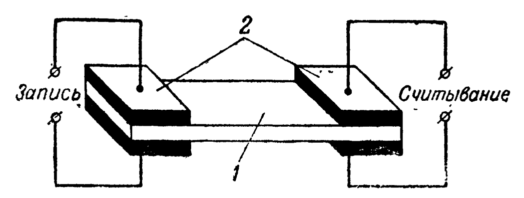


Рис. 77. Линия задержки на пьезоэлектрике.

1 — стержень из пьезоэлектрика; 2 — преобразователи.

ЗУ на линиях задержки с магнитострикционными преобразователями. Эти линии задержки основаны на явлении изменения формы и размеров тел из некоторых ферромагнитных веществ (железа, никеля, кобальта и их сплавов) при намагничивании. Это явление носит название магнитострикции.

Конструкция магнитострикционной линии схематически изображена на рис. 78. Она представляет собой металлическую, изготовленную чаще всего из никеля или его сплавов проволоку или ленту некоторой длины, зависящей от потребной емкости ЗУ. При выборе длины ленты следует исходить из того, что скорость распространения ультразвуковых колебаний в никеле составляет около 4 800 *м/сек*. Для преобразования колебаний используются катушки, навитые у концов ленты, причем приемная катушка помещается в поле постоянного магнита. Ультразвук распространяется в ленте в виде продольных волн, при которых происходит изменение длины, а следовательно, и плотности материала ленты. На приемном конце это вызовет появление в катушке наведенной э. д. с.

Магнитострикционные линии задержки относительно просты и дешевы и обладают малым температурным коэффициентом скорости. Однако недостатки их заключаются в больших вторичных отражениях от концов линии и низком значении допускаемой несущей частоты ультразвука (не более 500—600 *кгц*), что затрудняет их использование в ЗУ достаточно большой емкости.

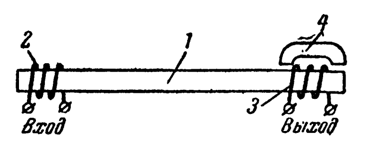


Рис. 78. Магнитострикционная линия задержки.

1 — металлическая лента; 2 — передающая катушка; 3—приемная катушка; 4 — постоянный магнит.

Значительно большей емкости удалось достигнуть в ЗУ на проволочной магнитострикционной линии задержки, по которой распространяются крутильные колебания. При этом для получения одинаковой задержки требуется

длина проволоки почти вдвое меньшая, чем при продольных колебаниях.

ЗУ на магнитострикционных линиях задержки благодаря их компактности, простоте конструкции и малому расходу мощности целесообразно использовать, например, в электронных машинах последовательного действия и в некоторых радиолокационных устройствах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В предшествующих главах приведены основные сведения о наиболее разработанных и интересных типах ЗУ, которые либо уже находят применение в современной технике, либо имеют перспективы внедрения в дальнейшем после усовершенствования их конструкции и технологии изготовления.

Однако описанными ЗУ ни в коей мере не исчерпываются потенциальные возможности расширения ассортимента устройств хранения дискретной информации. Ученые, инженеры, конструкторы непрерывно работают над задачей использования разнообразнейших физических и химических явлений для создания все новых и новых элементов, пригодных для построения на них запоминающих устройств.

При этом, с одной стороны, работа ведется в направлении создания наиболее экономичных, малогабаритных, технически совершенных быстродействующих ЗУ, которые можно было бы использовать в создаваемых и разрабатываемых в настоящее время электронных вычислительных машинах и других установках, включающих блоки памяти. Наиболее высокие требования, предъявляемые к таким устройствам сегодняшнего дня, ограничиваются быстродействием порядка микросекунд и долей микросекунды, информационной емкостью порядка нескольких десятков миллионов двоичных единиц. При этом допускаются размеры ЗУ, достигающие доли кубометра или даже нескольких кубометров и потребление мощности питания порядка единиц и даже десятков киловатт.

С другой стороны, для удовлетворения потребностей будущего (причем, учитывая стремительные темпы развития науки и техники, весьма близкого будущего) ведутся поисковые работы по созданию ЗУ с быстродействием порядка тысячных долей микросекунды, емкостью порядка сотен миллионов и миллиардов двоичных единиц, размерами порядка нескольких кубических дециметров и потребляемой мощностью, ограниченной десятками — сотнями ватт или единицами киловатт.

Эти интенсивные поиски позволяют надеяться, что в ближайшие годы будут созданы новые типы ЗУ, удовлетворяющие все возрастающим требованиям автоматики и телемеханики, техники связи и научного эксперимента, радиолокации и вычислительной техники.

ЛИТЕРАТУРА

Балашов Е. П., Проектирование магнитных элементов и устройств электронных вычислительных машин, изд-во ЛЭТИ, 1964.

Бремер Дж., Сверхпроводящие устройства, изд-во «Мир», 1964.

Дроздов Е. А., Прохоров В. И., Пятибратов А. П., Основы вычислительной техники, Воениздат, 1961.

Крайзмер Л. П., Быстродействующие ферромагнитные запоминающие устройства, изд-во «Энергия», 1964.

Крайзмер Л. П., Техническая кибернетика, изд-во «Энергия», 1964.

Крайзмер Л. П., Устройства хранения дискретной информации, Госэнергоиздат, 1961.

Лаут В. Н., Любович Л. А., Запоминающее устройство на электронно-лучевых трубках быстродействующей электронной счетной машины Академии Наук СССР, изд-во АН СССР, 1957.

Магнитные элементы цифровой техники, под ред. А. Мейергофа, изд-во «Энергия», 1964.

Меркулов Н. И., Павликов А. А., Федоров А. С., Запоминающие устройства, Физматгиз, 1962.

Пирогов А. И., Шамаев Ю. М., Магнитные сердечники с прямоугольной петлей гистерезиса, изд-во «Энергия», 1964.

Прокудин В. А., Запоминающие устройства электронных цифровых вычислительных машин, изд-во «Советское радио», 1961.

Техника магнитной записи, Сб. переводных статей под ред. М. А. Розенблата, Изд-во иностр. лит-ры, 1962.

Тонкие магнитные пленки, Сборник переводных статей под ред. В. М. Глушкова и Л. В. Киренского, Гостехиздат УССР, 1963.

Хавкин Г. А., Запоминающие устройства цифровых вычислительных машин, Госатомиздат, 1961.

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 32 коп.